

Beiträge zur Entwicklung eines vereinheitlichten Informations-Begriffs

**Inauguraldissertation
der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern**

**vorgelegt von
Daniel Federico Flückiger
von Rohrbach BE und Bern BG**

**Leiter der Arbeit: Prof Dr. H. Mey,
Institut für Informatik und angewandte Mathematik**

Von der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät angenommen.

Bern, den 12. Januar 1995

Der Dekan:

Prof. Dr. C. Brunold

Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation versteht sich als Beitrag zur Entwicklung eines vereinheitlichten Informations-Begriffs. Fragen wie jene nach dem letzten Informationsträger, nach einem Informationselement, nach einem geeigneten Mass oder nach einer allgemeinen Charakteristik der Information, die in der Vergangenheit stets widersprüchlich beantwortet wurden, erhalten darin im Rahmen einer neu gefassten und interdisziplinär abgestützten Informationstheorie eine einheitliche Bestimmung. Als Fundament hierfür dienen im wesentlichen zwei Gedanken. Eine erste Idee entspringt der Feststellung, dass die verschiedenen Anforderungen an einen Informationsträger nur mit dem sehr allgemeinen Begriff des Dings als Einheit der wahrnehmbaren Realität und der Vorstellungswelt und nicht mit dem in der Vergangenheit häufig vorgeschlagenen, auf den Semiotiker Charles W. Morris zurückgehenden Begriff des Zeichens gefasst werden können. Dies hat zur Folge, dass eine neue Sichtweise der semiotischen Auslegung der Begriffe Syntax, Semantik und Pragmatik entwickelt werden musste. Diese stehen in der neuen Situation nicht mehr für grundsätzlich verschiedene Konzepte von Beziehungen zwischen den Dingen, sondern sie bezeichnen bloss situationsbedingte Merkmale beliebiger gerichteter Beziehungen. Ein zweiter Gedanke entspringt aus der Erkenntnis der modernen Hirnbiologie, dass alle diese Dinge nichts anderes sind als Konstrukte des Gehirns eines Organismus. Mit dieser Einsicht konnten strukturelle Ähnlichkeiten zwischen dem neuronalen Aufbau des Gehirns, der Struktur des Wissens und der Struktur der wahrgenommenen Umwelt sichtbar gemacht werden. Damit wurden die Grundlagen geschaffen, um eine neue, formal dargestellte Informationstheorie zu entwerfen, aus der sich eine als 'Hauptsatz der Informationstheorie' postulierte Konklusion ableiten lässt, die eine starke Ähnlichkeit mit dem zweiten thermodynamischen Hauptsatz hat.

Abstract

The present thesis is to be a contribution towards a unified concept of information. Its aim is to achieve, within the framework of a new and interdisciplinary information theory, a coherent treatment of questions such as that of the ultimate information carrier, the information element, the appropriate unit of measurement or the general characterisation of information, which have so far been answered contradictorily. Two ideas form the basis of this theory. The first idea starts with the fact that the various requirements for an information carrier can only be met by this most general concept, the thing as a unit in perceptual and conceptual reality, and not, as often suggested, by the concept of the sign as proposed by the semiotician Charles W. Morris. This entails a new interpretation of the semiotic terms syntax, semantics and pragmatics. In the new framework I want to suggest, these no longer stand for fundamentally separate relations between things, but designate only the context-dependent features which any directed relation has. The second idea owes to modern neurobiology the insight that 'things' are merely the constructs of an organism's brain. After this discovery, similarities between the neuronal structure of the brain, the structure of knowledge and the structure of perceived reality come no longer as a surprise. Thus the foundations for a new formal information theory can be laid, enabling me to postulate, in conclusion, a 'fundamental law of information theory' showing marked similarities with the second law of thermodynamics.

Vorwort

Seit nunmehr drei Jahrzehnten existiert die Informatik als eigenständige wissenschaftliche Disziplin, welche sich mit der systematischen Verarbeitung von Informationen befasst. Trotzdem wird bis heute eine allgemein gültige Definition des Begriffs 'Information' vermisst. Zwar gab es in der Vergangenheit verschiedene Versuche, den Informationsbegriff zu bestimmen, doch es ist nie gelungen, einen befriedigenden Entwurf einer übergreifenden Fassung aus den seinerzeit entwickelten fachspezifischen Konzepten des Informationsbegriffs abzuleiten. Die Ansichten bezüglich der Grundfragen der Information, wie etwa die Frage nach dem Informationselement oder nach einem geeigneten Mass der Information, gingen mitunter derart auseinander, dass eine Vereinheitlichung der Konzepte unmöglich schien. Dieses Faktum mag massgeblich dazu beigetragen haben, dass sich die Informatik von einer ihrer ureigensten Grundfragen abgewendet hat hin zu Fragen bezüglich der Entwicklung und der Anwendung von elektronischen Anlagen, die geeignet sind, 'Informationen' zu verarbeiten. Die Frage nach dem Charakteristikum der Information wurde dabei stets ausgeklammert oder vorbehaltlos als gegeben betrachtet. Diese vermeintliche Sicherheit ist heute derart stark verankert, dass mit Ausnahme von Claude E. Shannons mathematischer Theorie der Kommunikation, die den Informationsbegriff aus mathematisch-technischer Sicht deuten will, die meisten übrigen Informationstheorien in Vergessenheit geraten sind.

Mit der vorliegenden Dissertation wage ich nun, die Diskussion um den Informationsbegriff zu reaktivieren und gleichzeitig einen Beitrag zu dessen fachübergreifender Bestimmung zu leisten. Dabei sollen bisher nicht berücksichtigte Ideen, die einerseits gewissen neueren philosophischen Gedanken zur Semantik und andererseits den Erkenntnissen der modernen Hirnbiologie entstammen, in die Diskussion einfließen und so mithelfen, die Begriffsbestimmung breiter abzustützen.

Die Arbeit entstand neben meiner Tätigkeit als freiberuflicher Informatiker im Bereich des Datenbankentwurfes und als nebenamtlicher Dozent für Informatik an der Ingenieurschule Bern HTL. Die beiden Aktivitäten standen keineswegs im Widerspruch zur gewiss eher theoretisch ausgerichteten Dissertation. Die in der Praxis angetroffenen Situationen lieferten immer wieder Beispiele, die zur Klärung von manchen die Arbeit betreffenden Gedanken beitrugen.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Hansjürg Mey für die hervorragende Unterstützung während der Entstehung der Dissertation. In Situationen, in denen die Suche nach Lösungen von Problemen in eine falsche Richtung zu driften drohte, stand mir Herr Mey stets mit kompetenten Ratschlägen zur Seite. Besonders wertvoll war für mich die Möglichkeit, selbständig und ohne jeglichen äusseren Zwang die Arbeit realisieren zu können. Einen besonderen Dank möchte ich Herrn Dr. Stefan Hottinger aussprechen, der mir mit grosser Hingabe bei der Ausarbeitung des philosophischen Teils der Arbeit beigestanden ist und häufig auch wertvolle Gedanken zur Verbesserung der übrigen Teile der Arbeit beigetragen hat. Es ist mir ausserdem eine angenehme Pflicht, den Herren Prof. Dr. Jürg Schmid und Prof. Dr. Hans-Rudolf Lüscher sowie meinem Freund Ueli Gysel für ihre wertvollen Beiträge zum erfolgreichen Abschluss der Arbeit zu danken.

Ein herzliches Dankeschön richtet sich schliesslich an meine Ehefrau Eveline, die sich trotz der verstärkten Haushaltspflicht, erwachsen aus den überaus erfreulichen Ereignissen der Geburten unserer beiden gesunden Kinder, stets zu mir und meiner Arbeit gestanden ist und darüber hinaus mit fachkundigen Hinweisen und Ergänzungsvorschlägen wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen hat.

Bern, 12. Januar 1995

Federico Flückiger

1. EINLEITUNG

Der Werdegang der naturwissenschaftlichen Disziplinen im 19. und 20. Jahrhundert zeichnet sich durch eine rasante Entwicklung aus, deren Resultate im 20. Jahrhundert vielfach bedenkenlos im Alltag angewendet werden. Der naturwissenschaftliche Erkenntnisprozess entwickelt dabei eine Eigendynamik, die durch anhaltende Anhäufung neuer Beobachtungen genährt wird. Neue Fakten führen zu Modifikationen von Modellvorstellungen, Arbeitshypothesen und experimentellen Ansätzen, und letztere erschliessen wiederum neue Fakten. Die diesen Tätigkeiten zugrunde liegenden Setzungen, Normen und Definitionen sind jedoch meist implizit und beruhen auf unausgesprochenem Einvernehmen. Ein Beispiel hierzu liefert zweifellos die Bestimmung von drei grundlegenden Begriffen der Naturwissenschaften: Energie, Materie und Information. Schlagen wir in [Knaurs 1974] nach, so finden wir die folgenden Definitionen:

“Energie ist die Fähigkeit Arbeit zu leisten. Energie existiert in zahlreichen Erscheinungsformen, man unterscheidet meist: Mechanische Energie (...), Wärme-Energie (...), Feld-Energie des Gravitationsfeldes, des elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldes (...), Strahlungsenergie von Teilchen (...), chemische Energie (...).” [Knaurs 1974, Band 5, S. 1541 f.]

“Materie ist die Bezeichnung für alle Stoffe, im Gegensatz zur Energie und zum Vakuum. Die Eigenschaft der Masse ist mit der Materie untrennbar verbunden. (...).” [Knaurs 1974, Band 12, S. 3907]

“Information = Mitteilung, Auskunft, Belehrung.” [Knaurs 1974, Band 8, S. 2816]

Es fällt auf, dass alle drei Begriffe auf andere, nicht näher präzierte Begriffe zurückgeführt werden, deren Herleitung wiederum auf nicht weiter definierten Begriffen beruht. Diesen schwachen Fundamenten zum Trotz gründen wichtige Sätze der Naturwissenschaft auf den oben genannten drei Begriffen, und die daraus abgeleiteten Folgerungen liefern oftmals beeindruckende Ergebnisse. Zugegeben, Energie und Materie werden qualitativ gegenüber anderen Begriffen abgegrenzt, doch Information lässt sich auch heute offenbar nur durch eine Auflistung von Synonymen umschreiben und harrt nach wie vor einer tieferen Klärung.

Entwicklungsgeschichtlich ist das Wort Information die Substantivform des Verbes informieren, welches im 15. Jahrhundert aus dem lateinischen 'informare' entlehnt wurde. Während die ursprüngliche lateinische Fassung gleichviel wie 'einformen, eine Gestalt geben, bilden' bedeutet, wurde die deutsche Variante stets im übertragenen Sinne verwendet. War 'informieren' in der Zeit des Humanismus und der Renaissance ein Synonym von 'unterrichten', so wurde die Bedeutung im 20. Jahrhundert durch 'benachrichtigen, Auskunft geben' erweitert. In jüngster Zeit erfährt der Informationsbegriff durch seine Anwendung in den Naturwissenschaften, insbesondere in der Biologie (Erbinformation), wieder eine Hinwendung von der übertragenen deutschen zur ursprünglichen lateinischen Bedeutung.

Es mangelt nicht an Theorien zur Problemstellung. Nachdem im Jahre 1948 Norbert Wiener mit seinem Ausspruch “Information ist Information, weder Materie noch Energie” (nachzulesen in: [Wiener 1963, S. 192]) die Information als eine unabhängige Grundgröße der Naturwissenschaft postuliert hatte, lieferte Claude E. Shannon im selben Jahr in seiner Arbeit “The Mathematical Theory of Communication” (siehe auch: [Shannon 1969]) den bisher wichtigsten Beitrag zu einer Informationstheorie. Ausgehend von der Frage, wie möglichst viel Wissen in eine möglichst kurze Nachricht gesteckt werden kann, definiert Shannon in seiner Theorie insbesondere ein Mass für den mittleren Informationsgehalt, den man mit einer gegebenen Kodierung übertragen kann. Shannon beschränkt sich dabei auf den nachrichtentechnischen Aspekt des Informationsbegriffs und will bewusst von den für ihn irrelevanten Aspekten der Semantik und Pragmatik absehen.

In den 50er und 60er Jahren fand der Shannonsche Informationsbegriff Einzug in die verschiedensten Einzelwissenschaften. Neben den Naturwissenschaften waren es auch die Geisteswissenschaften, insbesondere die Psychologie, welche fachspezifische Konzepte der Information erarbeiteten (vgl. [Seiffert 1968] und [Attneave 1974]). Darüber hinaus richteten sich die Anstrengungen zunehmend auf allgemeingültige Bestimmungen, in denen die unterschiedlichen einzelwissenschaftlichen Aspekte synthetisiert

werden. Wesentliche Impulse für die weitere Entwicklung der Information gingen von der Semiotik, Kybernetik und Philosophie aus (vgl. [Nauta 1970] und [Titze 1971]). Ausser einer Vielfalt unterschiedlicher verbaler Bestimmungen und vagen Ansätzen für neue informationstheoretische Entwicklungen haben die Anstrengungen bisher jedoch wenig Neues gebracht und zu keiner allgemein anerkannten Konzeption geführt.

Nicht alle verstehen unter Information dasselbe. In der modernen Informationstheorie wird zwischen strukturell-attributiver und funktionell-kybernetischer Information unterschieden. Während Vertreter der ersten Richtung Information als Struktur, Vielfalt, Ordnung u. a. auffassen, wird Information in der zweiten Richtung als Funktionalität, funktionelle Bedeutung oder als Eigenschaft organisierter Systeme verstanden.

Für Philosophen wie Hans Titze vollzieht sich die Information ausschliesslich auf der geistigen Ebene durch die Anhäufung von Nachrichten, während Psychologen wie Helmut Seiffert auch dingliche Elemente wie die Umrisse einer Zeichnung, die durch ihre blosse Anwesenheit Information tragen und auch geben können, in die Begriffsdefinition einbeziehen möchten. Andere Forscher, wie etwa John Barwise und Jon Perry, vermitteln ein dazu konträres Bild der Information. Für sie ist die Information in der Welt situiert als Information über die strukturierte Realität. Die Sprache könne zwar als Träger der Information funktionieren, die Information selber sei jedoch nichtsprachlicher Natur. Der Kybernetiker Doede Nauta jr. sieht nicht in einer allgemeinen Konzeption der Information, sondern in der kybernetischen Deutung der semiotischen Grundbegriffe (Zeichen, Syntax, Semantik und Pragmatik) eine Lösung des Bestimmungsproblems. Im Zentrum der Betrachtungen steht das zeichenverarbeitende Individuum, welches über das Zeichen syntaktische, semantische und pragmatische Information erfährt. Nauta fordert demzufolge für jeden einzelnen Aspekt der Semiotik eine eigenständige Informationstheorie, welche über die Paradigmen der Semiotik ihren allgemeinen Rahmen finden.

Der auf Wiener zurückgehende Gedanke, dass Information neben Energie und Materie ein neues Weltprinzip sei, fand nicht einhellige Zustimmung. Carl Friedrich von Weizsäcker etwa ist der Ansicht, dass sich, nachdem die moderne Physik Materie als Sonderform der Energie erkannte, die Energie als Information erweisen könnte. Dann wäre Information sogar ein Prinzip aller Wirklichkeiten. Noch weiter geht Johannes Peters, indem er fordert, dass der Ausspruch der Bibel 'am Anfang war das Wort' als 'am Anfang war die Information' übersetzt werden müsste. Etwas konkreter drückt sich Fred Irvin Dretske aus, wenn er expliziert: 'In the beginning there was information. The word came later' [Dretske 1981, S. vii]. Hansjürg Mey schliesslich sieht in Materie, Energie und Information eine Triade, 'die in ihrer Wechselwirkung (...) die von uns wahrnehmbaren Eigenheiten (eines) Objekts ausmachen' [Mey 1986, S. 84]. Eine entgegengesetzte Position nimmt Hans Titze ein. Der von Shannon angegebene Zusammenhang der Information mit der Entropie weist für ihn eher auf Gemeinsames von Information, Energie und Materie hin als auf eine Sonderung. In [Titze 1971] will er nachgewiesen haben, dass die Information kein neues Weltprinzip, sondern bloss den Ursachenaspekt im Kausalitätsprinzip darstelle.

Einige fundamentale Probleme sind bis heute ungelöst. So ist beispielsweise die Antwort auf die Frage nach der Informationseinheit abhängig vom Standpunkt des Beobachters. Wird die Nachricht als Kombination von Zeichen den Untersuchungen zugrunde gelegt, so ist das Zeichen der letzte Träger der Information (vgl. [Flehtner 1968]). Wird andererseits die Nachrichtenquelle als Erzeuger von Zeichen analysiert, so besteht die Information in der Auswahl eines aus mehreren Zeichen eines Zeichenvorrats. In diesem Falle hat sich die binäre Unterteilung des Auswahlraumes als die einfachste Möglichkeit erwiesen, die Unsicherheit in bezug auf die Auswahl eines Zeichens zu verkleinern. Damit drängt sich das sogenannte Bit ('basic indissoluble information unit') als Informationseinheit auf. Da sich jeder beliebig grosse finite Zeichenvorrat mit Hilfe einer geeigneten Kodierungsvorschrift binär repräsentieren lässt, herrscht heute in gewissen Kreisen die Meinung vor, die Binärziffer als Repräsentant eines Bits und nicht das Zeichen sei der letzte Träger der Information. Dass beide Ansichten kaum zutreffen dürften, mag das folgende Beispiel zeigen: Ein Mann spaziert an einem sehr windigen Tag durch eine Strasse. Der Zufall will es, dass ein Ziegel von einem Dach her direkt auf den Mann zufällt. Bemerkt der Mann den Ziegel, so wird er überraschend informiert; nicht durch eine binäre Auswahl von Möglichkeiten, aber auch nicht durch ein Zeichen, sondern allein durch die Situation des auf ihn zufallenden Ziegels. Die Existenz dieser 'unadressierten' Information ist zwar bekannt, doch mit Ausnahme weniger vorsichtiger Versuche (Bsp. in [Nauta 1970]) fand diese Art der Information keinen Einzug in die heute bekannten Konzepte.

Ein weiteres Problem betrifft die Frage nach der Persistenz der Information. Peter Heyderhoff und Theodor Hildebrand schreiben etwa in [Heyderhoff/Hildebrand 1973, S. 2], die Information verlöre nach ihrer Auswertung ihren Wert, denn eine Information werde für eine Entscheidung gebraucht und sei deshalb nach der Entscheidung verbraucht. Ähnlich äussert sich Yehoshua Bar-Hillel, wenn er in [Bar-Hillel 1964, S. 305] sagt, dass der Satz 'Jonny is hungry' keine Information enthält für jemanden, der bereits wisse, dass Jonny hungrig sei. Die Information wäre deshalb offenbar einzig für den Prozess der Wissensgewinnung im Sinne einer Reduktion von Unsicherheit verantwortlich und äussere sich demnach allein in einer Reduktion relativer Wissensdifferenz zwischen zwei Individuen. Dieser Ansicht ist entgegenzuhalten, dass es tatsächlich Beispiele von persistent vorhandener Information gibt. Ein Exempel hierzu liefert die Erbinformation. Sie ist dauernd präsent und disponibel in den Genen und ermöglicht es den sie enthaltenden Zellen, entsprechende artspezifische Zellen im Organismus nachzubilden. Dem Argument, es handle sich hier um eine ganz andere Art von Information, kann dadurch begegnet werden, dass auch bei der Zellenbildung anfänglich ein 'Informationsdefizit' herrscht, das durch einen Kopiervorgang der Erbinformation im Rahmen der Mitose ausgeglichen wird. Das Resultat sind zwei neue Zellen mit exakt der gleichen Erbinformation wie die Mutterzelle, wenn von Spontanmutationen abgesehen wird. Könnte dieser Gedanke auf den geistigen Fall appliziert werden, so würde sich das Wissen als die persistent abgespeicherte Information herausstellen, die durch Informationsvorgänge beliebig weitergegeben werden kann. Die Information wäre dann ein Überbegriff des Wissens und nicht bloss ein Werkzeug zur Wissensgewinnung.

Schliesslich soll noch auf ein anderes Problem aufmerksam gemacht werden. Von den meisten Informationstheoretikern wird 'Wahrheit' als notwendiges Charakteristikum der Information postuliert. Stellvertretend für andere meint Fred I. Dretske etwa in [Dretske 1981, S. 45]: 'Information is what is capable of yielding knowledge, and since knowledge requires truth, information requires it also.' Wie ist nun aber die Situation zu bewerten, in der ein Individuum unbewussterweise sein 'Wissen' auf falschen Annahmen gründet und damit beginnt, mit ebendiesem 'Wissen' seine Umgebung zu 'informieren'? Sind in diesem Fall nicht dieselben Übertragungs-, Aufnahme- und Abspeicherungsregeln anwendbar, wie wenn mit faktengerechtem Wissen informiert wird? Eine Bejahung dieser Frage zieht folgerichtig den Schluss nach sich, dass die Wahrheit, wie erwünscht sie auch immer sein mag, kein notwendiges Merkmal der Information darstellt. Damit fänden auch bewusste Desinformationen in derselben Theorie Platz, was im Sinne einer breit abgestützten Informationstheorie durchaus begrüssenswert wäre.

Die vorliegende Dissertation versteht sich als Beitrag zur Entwicklung eines vereinheitlichten Informationsbegriffs. Das Hauptziel dieser Niederschrift ist demnach die Erarbeitung eines Konzepts, welches die Ergebnisse der herkömmlichen Informationstheorien berücksichtigt, deren Mängel zu beheben versucht und darüber hinaus jene Aspekte einbezieht, die, obgleich in den einschlägigen Forscherkreisen bekannt, den Einzug in die Informationstheorie noch nicht geschafft haben. Weil ein solches Vorhaben notwendigerweise zu einer interdisziplinären Arbeit führt, müssen die zu Rate gezogenen Wissensdisziplinen in der Arbeit als erstes zusammenfassend eingeführt werden. In diesem Sinne wird in Kapitel 2 ein qualitativer Überblick über den bisherigen Wissensstand gegeben, indem einige ausgewählte Informationstheorien resümiert und einer kritischen Würdigung unterzogen werden.

Kapitel 3 thematisiert die Überarbeitung der notwendigen Grundbegriffe der angestrebten neuen Informationstheorie. Hierzu werden als erstes die zeichentheoretischen Grundbegriffe bezüglich ihrer Anwendbarkeit auf alle in Kapitel 2 aufgelisteten Aspekte der Information hin untersucht. Die dabei notwendig gewordene Substitution des Zeichenbegriffs durch den allgemeineren Begriff des Dings erforderte die Grundlegung einer neuen Sichtweise der drei Zeichendimensionen Syntax, Semantik und Pragmatik. Diese beruht auf der als eine der wichtigsten Thesen der vorliegenden Arbeit zu verstehenden einfachen Vermutung, dass Syntax, Semantik und Pragmatik nicht grundsätzlich verschiedene Konzepte von Beziehungen zwischen Dingen der Realität respektive der Vorstellungswelt verkörpern, sondern bloss situationsbedingte Merkmale beliebiger gerichteter Beziehungen bezeichnen. Mit anderen Worten wird die von der Semiotik vorgeschlagene unabhängige Existenz von syntaktischen, semantischen und pragmatischen Beziehungen verworfen und durch die Erkenntnis ersetzt, dass jede gerichtete Beziehung zwischen zwei Dingen nach Massgabe des analysierten Dings und dessen situativen Kontexts als syntaktisch, semantisch oder pragmatisch interpretiert werden kann.

Mit Hilfe der theoretischen Betrachtungen zur Semantik von Willard van Orman Quine sowie der Theorie der Situationssemantik von Jon Barwise und John Perry gelingt eine erste Positionierung dieses Konzepts im geisteswissenschaftlichen Lehrgebäude. Die anschliessende Präsentation verschiedener Lern- und Wissenstheorien, besonders aber die Wiedergabe der Erkenntnisse der modernen Hirnbiologie bezüglich Lernen und Wissen, veranschaulichen die Verträglichkeit der eben erwähnten These mit den neuzeitlichen epistemologischen und naturwissenschaftlichen Ergebnissen. Mehr als das: Die hirnbio-logische Erkenntnis, dass alles Wahrnehmbare und alles Intelligible stets als Hirnkonstrukt des erkennenden Subjekts zu verstehen ist, wird sich als wichtige Stütze der nachfolgend bestimmten Informationstheorie erweisen. Darüber hinaus wurden dank dieser Einsicht strukturelle Übereinstimmungen deutlich zwischen dem neuronalen Aufbau des Gehirns, der Struktur des Wissens und der Struktur der wahrgenommenen Umwelt.

In Kapitel 4 kann schliesslich, basierend auf den in Kapitel 3 skizzierten Ergebnissen, eine neue, formal dargestellte Informationstheorie entworfen werden, aus der sich eine als 'Hauptsatz der Informatik' postulierte Konklusion ableiten lässt, die eine offenkundige Affinität zum zweiten thermodynamischen Hauptsatz aufweist. Damit wird die Hypothese von Carl Friedrich von Weizsäcker gestärkt, wonach die Information ein Oberbegriff von Energie sei.

Die Thesen der vorliegenden Arbeit stützen sich auf Argumente verschiedener Wissensgebiete, was zur Folge hat, dass der Leser in jedes dieser Fächer eingeführt werden muss, bevor er mit den für die Arbeit nutzbringenden Aussagen konfrontiert werden kann. So entstanden vorab in den Kapiteln 2 und 3 Abschnitte, die weitgehend abgeschlossene Einheiten darstellen. Um dem Leitfaden der Dissertation folgen zu können, wird deshalb an einigen Stellen das Einbauen von Querverbindungen notwendig, was wiederum zu mühevolem Vor- und Zurückblättern in der Arbeit führen kann. Diesem unangenehmen Nebeneffekt wird nun derart entgegengewirkt, dass die wichtigsten Ergebnisse aus den jeweils vorangehenden Kapiteln an geeigneter Stelle wieder aufgeführt werden. Somit können die Kapitel 3 und 4 als eigenständige Einheiten betrachtet werden, die, von wenigen Einschränkungen abgesehen, für sich gelesen werden können. Beide Kapitel werden überdies mit ausführlichen Resümees beendet (vgl. Kapitel 3.4 respektive 4.5). Die dabei festzustellende grosse Redundanz mag jenen Leser stören, der die Arbeit als Ganzes liest, sie hilft aber auf der anderen Seite jenem Leser, der sich nur für ausgewählte Ausschnitte der Arbeit interessiert.

2. GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK

Die Einleitung vermittelt ein grobes Bild der geschichtlichen Begriffsentwicklung der Information. Eine allgemeine Konzeption setzt aber ein tieferes Verständnis des bisherigen Wissensstandes voraus. Aus diesem Grunde handelt das aktuelle Kapitel von der zusammenfassenden Darstellung einiger Thesen zur Bestimmung der Information.

Der Abschnitt beginnt mit einer Zusammenstellung der wichtigsten Elemente der nachrichtentechnischen Definition. Zwar markierten neben Nachrichtentechnikern auch Vertreter der Journalistik in den 20er Jahren den historischen Ausgangspunkt für die wissenschaftliche Bestimmung der Information, doch diese Versuche brachten bloss phänomenologische Beschreibungen. Viel konkreter (dank ihrer mathematischen Präzision) waren die Ergebnisse der Nachrichtentechniker, die mit Ronald A. Fisher ein erstes einfaches statistisches Modell (vgl. [Fisher 1922] und [Fisher 1935]) vorweisen konnten. Ende der 40er Jahre wurde mit dem Beitrag von Claude E. Shannon im Rahmen seiner mathematischen Kommunikationstheorie erstmals eine anerkannte Bestimmung der Information entwickelt und dank Warren Weavers Beitrag auch nichtmathematischen Kreisen zugänglich gemacht. Diese Theorie basiert auf den grundlegenden Überlegungen von Norbert Wiener, folgt ihnen aber nicht bis ins letzte Detail.

In der Folge entfachte sich eine breite Diskussion um die neue Theorie. Besonders Shannons bewusste Ausklammerung semantischer Aspekte in seiner Theorie führte Forscher wie Donald M. MacKay und Doede Nauta jr. dazu, neue alternative Theorien zur Information zu erarbeiten. Diese bauten zwar auf interessanten und erfolgversprechenden Grundgedanken auf, konnten sich aber mangels Verbindlichkeit nicht durchsetzen und sind praktisch in Vergessenheit geraten.

Neben Forschern, die eigene Definitionsversuche vornahmen, gab es auch solche, die Shannons Theorie nicht weiter hinterfragten, sondern diese durch Erweiterungen oder alternative Interpretationen bereicherten. Mit den Arbeiten von Helmut Seiffert, Hans Titze und Fred I. Dretske werden zum Abschluss des geschichtlichen Überblicks auch aus diesem Bereich noch drei interessante Beiträge vorgestellt.

2.1 Nachrichtentechnische Definition

2.1.1 Vorbereitende Ideen von Norbert Wiener

Norbert Wiener gilt als Begründer der Kybernetik als wissenschaftliche Disziplin. Er selber bezeichnet die Kybernetik in [Wiener 1963]⁽¹⁾ als 'Theorie der Kommunikation und der Steuerungs- und Regelungsvorgänge bei Maschinen und lebenden Organismen'. Mit der Kybernetik will Wiener ähnliche Forschungsbestrebungen der Nachrichtentechnik, Psychologie, Soziologie, Biologie und Medizin vereinen. Für ihn steht der Automat im Mittelpunkt der Untersuchungen. Die Beschaffenheit des Automaten soll dabei keine Rolle spielen, denn die wichtigste Bedingung, damit zwei Systeme miteinander kommunizieren können, sei, dass sie sich in derselben Zeitrichtung bewegen:

⁽¹⁾ Die Ausführungen entstammen nicht der Originalausgabe aus dem Jahre 1948, sondern der überarbeiteten und später ins Deutsche übersetzten Ausgabe aus dem Jahre 1963.

“So lebt der moderne Automat in der gleichen Bergsonschen Zeit ⁽²⁾ wie der lebende Organismus, und daher gibt es keinen Grund in Bergsonschen Betrachtungen, warum das wesentliche Funktionieren des lebenden Organismus nicht das gleiche wie jenes des Automaten dieses Typs sein sollte.” [Wiener 1963, S. 81]

Aus der nachrichtentechnischen Sicht ist neben Nachricht, Betrag der Störung (Rauschen) und Kodierverfahren vor allem die Grösse der Information einer der Hauptbegriffe. Die Übertragung von Information ist nach Wiener nur als Übertragung von Alternativen möglich, denn wenn nur ein möglicher Zustand übertragen werden soll, könne er mit geringstem Aufwand durch das Senden überhaupt keiner Nachricht übertragen werden. Er fordert deshalb die Entwicklung einer statistischen Theorie des Informationsgehalts, ein Begriff, der sich in natürlicher Weise mit dem Begriff der Entropie aus der statistischen Mechanik berühre. Während der Informationsgehalt eines Systems ein Mass des Grades der Ordnung sei, so sei die Entropie eines Systems ein Mass des Grades der Unordnung.

Dass Informationsgehalt und die Entropie aber doch für unterschiedliche Gegebenheiten stehen, illustriert Wiener anhand des Gedankenexperimentes des Maxwellschen Dämons (vgl. [Wiener 1963, S. 99 f.]). Es geht dabei um die Frage, wie in einem abgeschlossenen, ideales Gas enthaltenden Behälter die Entropie verkleinert werden kann. Angenommen, der Behälter bestehe aus einer durch eine kleine Pforte geschlossene Öffnung, so müsste ein 'Dämon' als Türhüter diese Pforte in jenen Momenten öffnen, in denen sich eine Partikel aus dem Behälter mit höherer als der mittleren Geschwindigkeit der Pforte nähert. Andernfalls muss der 'Dämon' die Pforte schliessen. Die Entscheidung, welche Aktion zu vollführen sei, kann der Dämon indessen nur fällen, wenn er einerseits die mittlere Geschwindigkeit aller Partikel im Gas und andererseits die Geschwindigkeit der ankommenden Partikel kennt. Er kann also nur auf empfangene Information hin reagieren. Wiener folgert deshalb, dass der Informationsgehalt als Mass für das 'Wissen um etwas' eine andere Grösse darstellen müsse als die Entropie, welche eine Kennzahl des Gases in einem abgeschlossenen System verkörpert. In [Wiener 1963, S. 103 ff.] glaubt er sodann auf mathematischem Weg den Informationsgehalt als negative Entropie herleiten zu können.

Damit ist aber die Frage nach einem eigentlichen Konzept der Information noch nicht beantwortet. Wiener legt in seinem Lebenswerk besonderen Wert darauf, eine Antwort auf diese Frage zu suchen. Er nutzt dazu die Ergebnisse seiner langjährigen Zusammenarbeit mit medizinischen Wissenschaftlern. In dieser Gemeinschaftsarbeit ist Wiener aufgefallen, dass die Ärzte, einem instinktiven Materialismus verfallen, mit der Psychopathologie und der Tatsache, dass deren Ursprung weder auf physiologischen noch auf anatomischen Ursachen beruht, irgendwie nicht zurecht kamen. Es gebe offenbar keinen Weg, das Gehirn eines schizophrenen, eines manisch-depressiven oder eines paranoiden Patienten zu identifizieren. Aus diesem Grunde schlägt Wiener vor, diese funktionellen Gedächtnisstörungen als fundamentale Krankheiten des Gedächtnisses und der darin zirkulierenden Information zu betrachten.

Information ist demnach nicht Materie, denn sonst würde man einen physischen Unterschied zwischen dem Gehirn eines Geisteskranken und jenem eines gesunden Menschen erkennen; Information ist aber auch nicht Energie, denn das Blut, das das Gehirn verlässt, ist nur ein Bruchteil eines Grades wärmer als jenes, das in das Gehirn eintritt. Diese Überlegungen führten zu Wieners berühmten Aussage:

“Information ist Information, weder Materie noch Energie. Kein Materialismus, der dieses nicht berücksichtigt, kann den heutigen Tag überleben.” [Wiener 1963, S. 192]

Die Information wird dadurch als eine unabhängige Grundgrösse der Naturwissenschaft postuliert. Wiener geizt nicht mit Beispielen, anhand derer er diesen Gedanken erläutert. Er erwähnt unter anderem,

“(…) dass Moschus, Zibet und Castoreum und ähnliche sexuell anziehende Substanzen bei den Säugetieren als kommunale, äusserliche Hormone betrachtet werden können, die besonders bei

⁽²⁾ Bergson betonte nachdrücklich den Unterschied zwischen der reversiblen Zeit der Physik, in der sich nichts Neues ereignet, und der irreversiblen Zeit der Evolution und Biologie, in der immer irgend etwas neu ist.

allen einsam lebenden Tieren unentbehrlich sind, um die Geschlechter zur geeigneten Zeit zusammenzubringen und der Fortdauer der Rasse zu dienen." [Wiener 1963, S. 225]

Daraus zieht Wiener den Schluss, dass sich eine Gemeinschaft nur soweit ausdehnt, wie eine wirksame Übertragung von Information reicht. Er geht sogar so weit zu behaupten, dass jeder Organismus in dieser Reihenfolge durch den Besitz von Mitteln für die Erlernung, den Gebrauch, die Zurückhaltung und die Übertragung von Information zusammengehalten wird. In einer Gesellschaft, die für den direkten Kontakt ihrer Mitglieder zu gross ist, seien diese Mittel die Presse, der Rundfunk, das Telefonsystem usw.

Norbert Wiener dediziert dem Gedanken, dass der lebende Organismus und der moderne Automat im wesentlichen gleich funktionieren, viel Platz in [Wiener 1963]. Da beide in der gleichen Bergsonschen Zeit existierten, gebe es gleichsam keinen Grund zu einer gegenteiligen Annahme. Der moderne Automat müsse, um dem lebende Organismus funktionell ebenbürtig zu sein, lediglich Lern- und Reproduktionsfähigkeit besitzen, zwei Eigenschaften, die nach Wiener eng miteinander verwandt sind, respektive wechselseitig voneinander abhängen (vgl. [Wiener 1963, S. 241 ff.]). In diesem Sinne sei neben der Existenz einer lernfähigen Maschine zusätzlich eine kanonische Form der Darstellung nichtlinearer Übertragern grundlegend für eine Theorie der selbstreproduzierenden Maschinen. Wiener zieht deshalb den folgenden Schluss:

"Die neuere Untersuchung der Automaten, ob aus Metall oder aus Fleisch, ist ein Zweig der Nachrichtentechnik, und ihre Hauptbegriffe sind jene der Nachricht, Betrag der Störung oder 'Rauschen', (...), Grösse der Information, Kodierverfahren und so fort." [Wiener 1963, S. 79]

Damit bereitet Wiener den Zusammenschluss der beiden damals neuen Fachgebiete der Automathentheorie und der Nachrichtentechnik vor, wobei der Informationsbegriff in der neuen Wissenschaft eine zentrale Rolle spielen soll. Neben dieser für die weitere Entwicklung der Informationstheorie wichtigen Idee ist es gewiss Norbert Wieners grösstes Verdienst, dank seiner Bereitschaft zur interdisziplinären Arbeitsweise, eine breit abgestützte Basis geschaffen zu haben, auf der Information glaubwürdig gegenüber anderen Begriffen abgegrenzt wird. Eine einwandfreie Definition des Begriffs ist ihm aber nicht gelungen.

2.1.2 Das statistische Modell von Claude E. Shannon

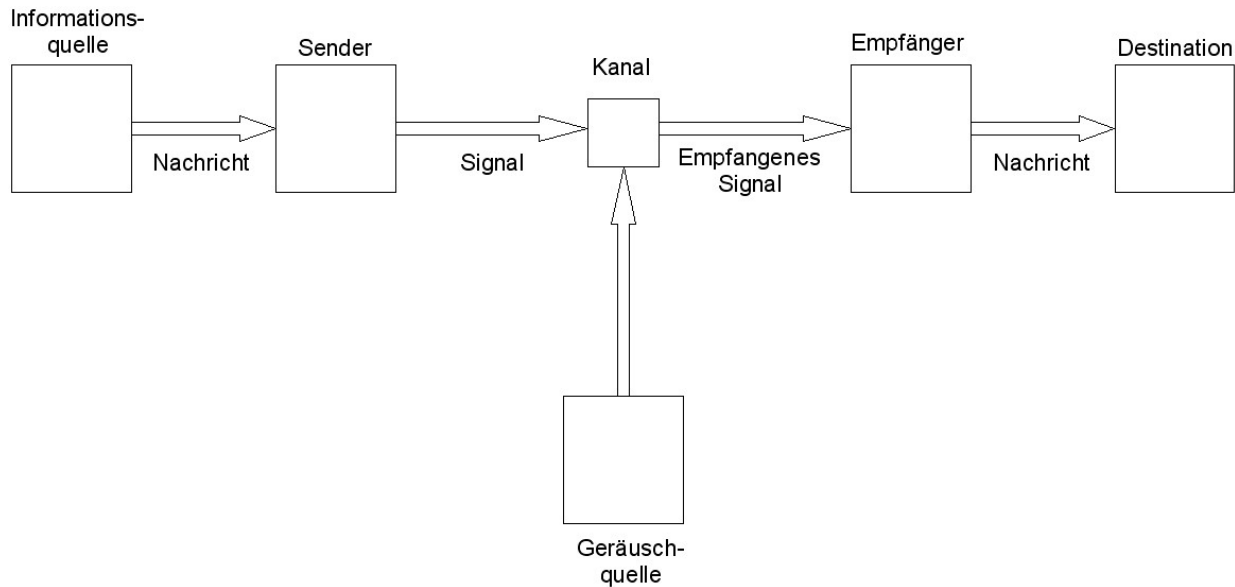
Die Idee Wieners von einer statistischen Theorie des Informationsgehaltes wurde von Claude E. Shannon in [Shannon 1969]⁽³⁾ verwirklicht. Das Grundproblem, das es nach Shannon zu lösen gilt, ist die Reproduktion einer an einem anderen Punkt erzeugten Nachricht. Die Frage nach der Bedeutung der Nachricht⁽⁴⁾ klammert er bewusst aus, indem er argumentiert:

"Frequently the messages have meaning; that is they refer to or are correlated according to some system with physical or conceptual entities. These semantic aspects of communication are irrelevant to the engineering problem. The significant aspect is that the actual message is one selected from a set of possible selection, not just the one which will actually be chosen since this is unknown at the time of design." [Shannon 1969, S. 31]

Voraussetzung der Nachrichtenübertragung ist nach Shannon die Existenz eines Kommunikationssystems. Darunter versteht er eine Anordnung, wie sie in Figur 1 dargestellt ist.

⁽³⁾ Bei [Shannon 1969] handelt es sich um die 4. Auflage des im Jahre 1948 erstmals erschienenen Werkes.

⁽⁴⁾ Mit 'Bedeutung' wird in Kapitel 2 die Extension der Nachricht, das heisst die Referenz der Nachricht mit den Dingen der Wirklichkeit, bezeichnet. Eine Ausnahme hierzu bildet Kapitel 2.3.3, wo die abweichende Verwendung ausdrücklich angegeben wird. Die detaillierte Analyse des Bedeutungsbegriffs im speziellen und des Semantikbegriffs im allgemeinen hinsichtlich des zu bestimmenden Informationsbegriffs folgt alsdann in Kapitel 3.



Figur 1: Schematische Darstellung eines allgemeinen Kommunikationssystems.

Shannon beschreibt die Komponenten des Kommunikationssystems folgendermassen:

- 1) Die Informationsquelle (respektive Nachrichtenquelle) erzeugt Nachrichten oder Teile von Nachrichten als Mitteilung für ein Zielobjekt.
- 2) Der Sender produziert, basierend auf der Nachricht, eine Sequenz von Signalen derart, dass diese sich über einen Kanal übermitteln lassen.
- 3) Der Kanal ist lediglich das Medium, durch welches das Signal vom Sender zum Empfänger übermittelt wird. Während des Übermittlungsvorgangs können die Signale durch eine sogenannte Geräuschquelle gestört und verfälscht werden.
- 4) Der Empfänger macht gewöhnlich die umgekehrte Operation des Senders, indem er aus den Signalen nach Möglichkeit die ursprüngliche Nachricht wieder herstellt.
- 5) Die Destination ist der Adressat der Nachricht und kann gleicherweise für eine Person oder ein Ding stehen. Sie benötigt ein apriorisches Wissen bezüglich der Informationsquelle, welches ihr das Verstehen der übermittelten Nachricht ermöglicht. Auf jeden Fall muss die Destination den Zeichenvorrat der Informationsquelle kennen.

Basierend auf diesem Kommunikationssystem definiert Shannon statistische Grössen wie Kanalkapazität und Informationsgehalt für diskrete und kontinuierliche, gestörte und geräuschfreie Systeme. Für die vorliegende Arbeit ist lediglich die Herleitung des Informationsgehaltes von diskreten, nicht gestörten Informationsquellen interessant, denn:

- Die Kanalkapazität ist irrelevant für die Bestimmung der Information. Es interessiert nicht, wieviel Information pro Zeiteinheit durch einen Kanal geschickt werden kann, sondern lediglich, dass Information gesendet wurde und was diese beinhaltet.
- Kontinuierliches Verhalten kann von entarteten Fällen abgesehen beliebig fein mit diskreten Modellen simuliert werden.
- Die Störquelle kann als zusätzliche Informationsquelle, welche den Kanal und damit die durch ihn gesendete Information informiert (respektive desinformiert), dargestellt werden.

Shannon setzt voraus, dass die Menge der Nachrichten, die eine diskrete Informationsquelle erzeugen kann, eine endliche Anzahl Elemente N_1, N_2, \dots, N_n (die elementaren Nachrichten oder Zeichen) mit je einer Auftretens-Wahrscheinlichkeit p_1, p_2, \dots, p_n hat. Da die Informationsquelle im allgemeinen Fall die Nachrichten aus einer in nichtdeterministischer Art und Weise zustande gekommenen Zeichensequenz

zusammensetzt, lässt sich die Informationsquelle als stochastischer Prozess ⁽⁵⁾ interpretieren. In vielen Fällen, wie beim Senden eines Textes in einer natürlichen Sprache, sind die Wahrscheinlichkeiten zusätzlich von den vorausgehenden Ereignissen abhängig. So ist der Buchstabe 'e' als Nachfolger des Buchstabens 'd' wahrscheinlicher als der Buchstabe 'z'. In diesen Fällen agiert die Informationsquelle als diskreter Markoffscher Prozess (ein Spezialfall eines stochastischen Prozesses) respektive als Markoffkette. Falls die Übergangswahrscheinlichkeiten unabhängig von der Anfangswahrscheinlichkeit gegen eine Wahrscheinlichkeitsverteilung konvergieren, wie dies typischerweise bei Informationsquellen, welche Texte in einer vorgegebenen Sprache erzeugen, der Fall ist, spricht man von einer ergodischen Markoffkette.

Die Ergodizität der Übergangswahrscheinlichkeiten kann veranschaulicht werden, indem eine entsprechende Informationsquelle dazu gebracht wird, automatisch und ohne intelligente Eingabe, Text zu erzeugen [Shannon 1969, S. 43 ff.]. Werden dazu Bigramme ⁽⁶⁾ verwendet, so unterscheidet sich die resultierende Zeichenfolge bereits deutlich von einer bloss aufgrund der normalen Auftretenswahrscheinlichkeiten erzeugten Zeichenfolge. Können für die Textgenerierung Trigramme oder gar Tetragramme ⁽⁷⁾ verwendet werden, so lässt sich ein beinahe-sinnvoller Text erzeugen.

Das Mass für den Informationsgehalt, Shannon nennt es $H(p_1, p_2, \dots, p_n)$, soll neben der Vorgabe, dass von Form und Inhalt der Information abstrahiert wird, die folgenden Eigenschaften besitzen:

- 1) H ist stetig in p_i .
- 2) Falls alle p_i gleich sind ($p_i = 1/n$), muss H monoton steigen mit steigendem n .
- 3) Falls eine Auswahl in zwei aufeinanderfolgende zerlegt wird, muss das ursprüngliche H die gewichtete Summe der beiden neuen H -Werte sein.

Vermittels eines Theorems postuliert Shannon in [Shannon 1969, S. 49 f.], dass die einzige den drei oben genannten Kriterien genügende Funktion die folgende Form haben muss:

$$H = -K \sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad \text{Formel 1}$$

wobei K eine normierende positive Konstante ist. Shannon zeigt in [Shannon 1969, S. 87 ff.], dass die Formel 1 auch im allgemeineren Fall für reelle p_i gilt.

Mit dieser Formel schafft Shannon eine direkte Äquivalenz zur Entropie der statistischen Mechanik und damit einen Widerspruch zu Wieners Ausspruch, wonach der Informationsgehalt eine negative Entropie sei. Dieser Streit um das Vorzeichen wurde in der Folge noch einige Zeit weiter ausgefochten, bis sich Shannons Konzept schliesslich durchsetzte, vermutlich wegen seiner offensichtlichen Praxistauglichkeit.

Der Informationsgehalt H aus Formel 1 ist eine Grösse, mit der die mittlere Anzahl Zeichen (aus einem Zeichenvorrat x_1, x_2, \dots, x_n) zur Kodierung einer Nachricht berechnet werden kann. Da der resultierende Wert nicht immer ganzzahlig ist, spricht Shannon deshalb vom Informationsgehalt H^* des Kodierungsverfahrens, für den jeweils gilt: $H^* \geq H$. Die dadurch erzeugte überflüssige Information, die Redundanz r , wird mathematisch wie folgt berechnet:

$$r = 1 - \frac{H}{H^*} \quad \text{Formel 2}$$

⁽⁵⁾ Nähere Angaben zu den stochastischen Prozessen und deren Spezialfällen finden sich in [Heller et al. 1978], [Ehrenstrasser 1974] oder [Beyer et al. 1978].

⁽⁶⁾ Unter einem Bigramm wird die Tatsache verstanden, dass das Auftreten eines Zeichens nicht bloss von seiner Auftretenswahrscheinlichkeit, sondern auch von seinem Vorgängerzeichen abhängt.

⁽⁷⁾ Im Vergleich zum Bigramm spielen beim Trigramm die zwei und beim Tetragramm die drei vorangehenden Zeichen eine Rolle für das Auftreten eines Zeichens.

Shannons Theorie des Informationsgehaltes wurde in der Folge von vielen Wissenschaftlern geringschätzig als syntaktische Information bezeichnet, weil die semantische und die pragmatische Ebene ausgeklammert seien. Besonders Yehoshua Bar-Hillel und Forscher, die sich stark auf ihn beziehen wie beispielsweise Doede Nauta jr., attackierten die Theorie Shannons aufs heftigste. Abgesehen von der Lehre des Informationsgehaltes einer Nachrichtenquelle, die in diesen Kreisen für nebensächlich gehalten wird, werde die Information als Vorstellung nicht bestimmt (vgl. [Bar-Hillel 1964, S. 301]). Des weiteren sei die physikalische Entropie als empirisches Konzept ungeeignet, eine Definition der semantischen Information festzulegen, da diese ein logisches Konzept darstelle (vgl. [Bar-Hillel 1964, S. 309]). Eine Weiterentwicklung von Shannons Theorie hin zu einer allgemeingültigen Informationstheorie müsse demnach notgedrungen in eine Sackgasse geraten. Bis heute gibt es in der Informationstheorie jedoch keine andere so breit abgestützte, verbindliche Grösse als Shannons Informationsgehalt. Auf der anderen Seite werden in Shannons Arbeit zu Recht Hinweise auf die konzeptionelle Klärung der Information vermisst.

2.1.3 Interpretationshilfen von Warren Weaver

Die Informationstheorie von Shannon wäre wahrscheinlich vielen mathematisch weniger versierten Forschern verborgen geblieben, hätte sie nicht Warren Weaver in seinem Beitrag in [Weaver 1969] verständlicher formuliert und sie in einen breiteren, wissenschaftlichen Kontext eingebettet. Dementsprechend verwendet er das Wort Kommunikation in einem erweiterten Sinne:

“The word communication will be used here in a very broad sense to include all of the procedures by which one mind may affect another. This, of course, involves not only written and oral speech, but also music, the pictorial arts, the theatre, the ballet, and in fact all human behavior.” [Weaver 1969, S. 3]

Das Problem zerfällt nach Weaver in drei Teilprobleme:

- 1) Das technische Problem: Wie genau können Kommunikationssymbole übermittelt werden?
- 2) Das semantische Problem: Wie präzise behalten die Symbole bei der Übertragung die vom Sender intendierte Bedeutung?
- 3) Das Wirkungsproblem: Wie genau stimmen die erwartete und die durch das empfangene Signal eingetretene Wirkung überein?

Weaver ist wie viele seiner Zeitgenossen der Meinung, dass Shannon eine Lösung für das erste Teilproblem bringt. Im Gegensatz zu Bar-Hillel erkennt er aber keinen Hinderungsgrund, die entsprechenden Ergebnisse auf die beiden anderen Teilprobleme anzuwenden. So kann er sich durchaus eine dem Modell in Figur 1 ähnliche Anordnung für die Übertragung von semantischer Information vorstellen. Darin würden die Symbole durch eine semantische Informationsquelle erzeugt und vom Sender in übertragbare Signale übersetzt. Diese Signale würden, unterwegs von einer Geräuschquelle in ihrer Bedeutung verfälscht, vom Empfänger wieder in semantische Symbole rückübersetzt und der semantischen Destination übergeben.

Ein weiterer Gesichtspunkt zur Untermauerung dieser Idee bildet die Feststellung Weavers, dass die Theorie der Markoffketten einen der wichtigsten und zugleich schwierigsten Aspekte der Bedeutung behandelt, nämlich den Einfluss des Kontextes. Er formuliert daraus die folgende Vermutung:

“One has a vague feeling that information and meaning may prove to be something like a pair of canonically conjugate variables in quantum theory (...). Or perhaps meaning may be shown to be analogous to one of the quantities on which the entropy of a thermodynamic ensemble depends.” [Weaver 1969, S. 28]

Damit äussert Weaver die Vermutung, dass die thermodynamische Entropie und die Bedeutung stark voneinander abhängen, ein Gedanke, der leider in der wissenschaftlichen Diskussion zur Information nicht mehr weiter verfolgt wurde, der aber dringend eine ernsthafte Prüfung erfordert.

Warren Weaver stellt in seinem Bericht, wie übrigens auch Shannon und Wiener, die Frage nach der kleinsten Informationseinheit. Da sich für ihn die Information in der Auswahl eines Elementes aus einer Menge manifestiert, ist er in Übereinstimmung mit den beiden anderen Forschern der Meinung, die Einheit der Information sei die Auswahl aus zwei Möglichkeiten. Diese Feststellung wurde durch die Erkenntnis gestützt, dass sich jede Auswahl auf eine Sequenz von binären Entscheidungen zurückführen lässt ⁽⁸⁾. Damit erhielt die Informationstheorie eine anerkannte Basis, die sich überdies elegant mit elektronischen Maschinen verwirklichen liess.

2.2 Alternative Bestimmungsversuche

2.2.1 Die deskriptive Informationstheorie nach Donald M. MacKay

Donald M. MacKay ist einer jener in Vergessenheit geratener Wissenschaftler, die versucht haben, unabhängig von Shannons Theorie eine eigene Bestimmung der Information vorzunehmen. Die Grundlage für seine sogenannte deskriptive Informationstheorie bildet die Feststellung, dass die Information im Zusammenhang mit der Vergrößerung des Wissens steht:

“Suppose we begin by asking ourselves what we mean by information. Roughly speaking, we say that we have gained information when we know something now that we didn't know before; when 'what we know' has changed.” [MacKay 1969, S. 10]

Der Aufbau des Wissens kann nach MacKay nur als zusammenhängende Repräsentation ⁽⁹⁾ verstanden werden, in die das Informationselement eingebettet werden will. Dieses Informationselement dürfe deshalb nicht als formloses Einzelding aufgefasst werden, sondern es müsse eine minimale Struktur aufweisen, damit sich dem Empfänger die vom Sender intendierte Bedeutung der Information enthüllen kann ⁽¹⁰⁾. Der Empfänger könne seinerseits eine Information in dem Masse besser in sein Wissen einordnen, als er mit ihr ganz oder teilweise vertraut ist. Mit anderen Worten: Erfahren wir mehrfach dieselbe Nachricht, so wird sie uns mit jedem Mal vertrauter und erscheint uns deshalb plausibler. Dieser Effekt ist keineswegs nur in der verbalen Kommunikation zu erkennen. So gewinnt etwa das Resultat eines naturwissenschaftlichen Experimentes in dem Masse an Evidenz, als es unter ähnlichen Voraussetzungen reproduziert werden kann.

MacKay glaubt, dass mit Shannons Informationsgehalt, den er 'selektiver Informationsgehalt' nennt, diese Gegebenheiten nicht ausgedrückt werden können. Die Information dürfe nicht bloss auf die Auswahl von einzelnen, unabhängig existierenden Nachrichten reduziert werden, sondern sie müsse vielmehr die beiden Gesichtspunkte:

- 1) die innere Struktur des Informationselementes als 'logisch-apriorischer' Aspekt (strukturelle Information) und
- 2) das sogenannte Beleggewicht ('weight of evidence' nach MacKay) der einzelnen Strukturelemente als 'empirisch-aposteriorischer' Aspekt (metrische Information) beinhalten.

⁽⁸⁾ Daraus wurde im übrigen der Ausdruck Bit ('basic indissoluble information unit') abgeleitet. Aus demselben Grund wird der Informationsgehalt H normalerweise nicht wie in Formel 1 mit Hilfe des Logarithmus zur Basis 10 sondern mit jenem zur Basis 2 berechnet. Dazu muss allerdings die Konstante K anders festgesetzt werden.

⁽⁹⁾ Unter einer Repräsentation versteht MacKay irgendeine abstrakte oder konkrete Struktur (Muster, Bild, Modell), die dank ihrer Merkmale geeignet ist, eine andere Struktur zu symbolisieren.

⁽¹⁰⁾ MacKay erläutert diesen Gedanken anhand des folgenden Beispiels: Ein Wort allein ergibt selten einen Sinn. Meistens wird erst durch eine Gruppe von Wörtern und manchmal sogar erst durch mehrere miteinander agierende Sätze die Rolle des einzelnen Wortes innerhalb eines Satzes klar.

Den ersten, logisch-apriorischen Aspekt löst MacKay mit seinem sogenannten Logonenkonzept. Offensichtlich könne das Informationselement in strukturelle Elemente oder Logonen, wie sie MacKay nennt, gegliedert werden. Als Mass des Strukturgehaltes schlägt er sinngemäss den Logonengehalt (logon content) vor, der als ganzzahliger Wert die Anzahl struktureller Elemente eines Informationselementes enthält:

“Logon-content is a convenient term for the structural information-content or number of logons (number of independently variable features) in a representation (e. g. the number of independent coefficients required to specify a given waveform over a given period of time).” [MacKay 1969, S. 165]

Eine Lösung des empirisch-aposteriorischen Aspektes, ein Mass für die Plausibilität eines Strukturelementes festzulegen, bringt nach MacKay das Metronenkonzept. Die korrespondierende Einheit, das Metron, definiert er folgendermassen:

“The unit of metrical information, one metron, is defined as that which supplies one element for a pattern. Each element may be considered to represent one unit of evidence. Thus the amount of metrical information in a pattern measures the weight of evidence to which it is equivalent.” [MacKay 1969, S. 166]

Der entsprechende Metronengehalt (metron content) werde vorzugsweise pro Logon angegeben und enthält als ganzzahliger Wert die Menge nicht unterscheidbarer Hinweise auf das Logon, oder wie MacKay selber sagt:

“Thus the amount of a metrical information in a single logon, or its metron-content, can be thought of as the number of elementary events which have been subsumed under one head or 'condensed' to form it.” [MacKay 1969, S. 166]

Sind in einer Repräsentation der Logonengehalt und zu jedem Logon der individuelle Metronengehalt bekannt, so kann nach MacKay die deskriptive Information der Repräsentation als Informationsvektor in einem Informationsraum dargestellt werden. Dabei werde pro Logon eine Achse festgesetzt. Der Wert der korrespondierenden Vektorkomponente sei die Quadratwurzel des dem Logon entsprechenden Metronengehaltes. Damit entspricht das Quadrat des Betrags der Länge des Informationsvektors dem totalen Metronengehalt der Repräsentation.

Es bleibt zu bemerken, dass alle besprochenen Masse, der Logonen- wie der Metronengehalt, notwendigerweise dimensionslose positiv-ganzzahlige Werte darstellen.

MacKay ist mit seiner Theorie der deskriptiven Information eine einleuchtende und bestechend einfache Bestimmung der Information gelungen, die auch gewisse semantische Aspekte berücksichtigt. Dennoch ist sie in der Folge kaum mehr weiterentwickelt worden und beinahe in Vergessenheit geraten. Dies hat natürlich seine Gründe:

- 1) Das Logonenkonzept wird an den unterschiedlichen Ansichten der verschiedenen Informationsgeber in bezug auf das Informationselement scheitern. Zwar wird man gewiss ohne Probleme die notwendige minimale Anzahl Parameter explizite finden, um eine physikalische Schwingung zu charakterisieren. Will man aber die rein verbale Beschreibung einer Gegebenheit untersuchen, so wird es kaum gelingen, einen breit abgestützten Konsens über Anzahl und Art der Logonen zu finden.
- 2) Mit dem Metronenkonzept will MacKay einen Sachverhalt diskret-mathematisch beschreiben können, bei dem offensichtlich auch psychologische Aspekte mitspielen. Das schrittweise, bei wiederholter Information erfolgte Inkrementieren des Beleggewichtes um den Wert 1 erscheint als Konzept zu einfach. Die Situation, dass trotz zehnfachem Zuhören der Umstand des Gesagten unklar bleibt und dadurch kein ersichtlicher Gewinn an Plausibilität erreicht wird, ist wohl allenthalben bekannt. Des weiteren ist nicht auszuschliessen, dass sich beim elften Mal, hervorgerufen durch einen unerwarteten Erkenntnisschub, der Tatbestand auf wundersame Weise erhellt. Auch das Beleggewicht mag bei diesem 'Erleuchtungsprozess' eine sprunghafte Wertvermehrung erfahren, da unter Umständen andere, früher nicht verstandene Aussagen plötzlich klar werden.

Die deskriptive Informationstheorie weist in ihrer Ausführung von MacKay zwar gravierende Mängel auf, die Grundgedanken, auf welchen sie basiert, sind aber zweifellos korrekt und müssen in die Diskussion um einen allgemeinen Informationsbegriff einfließen.

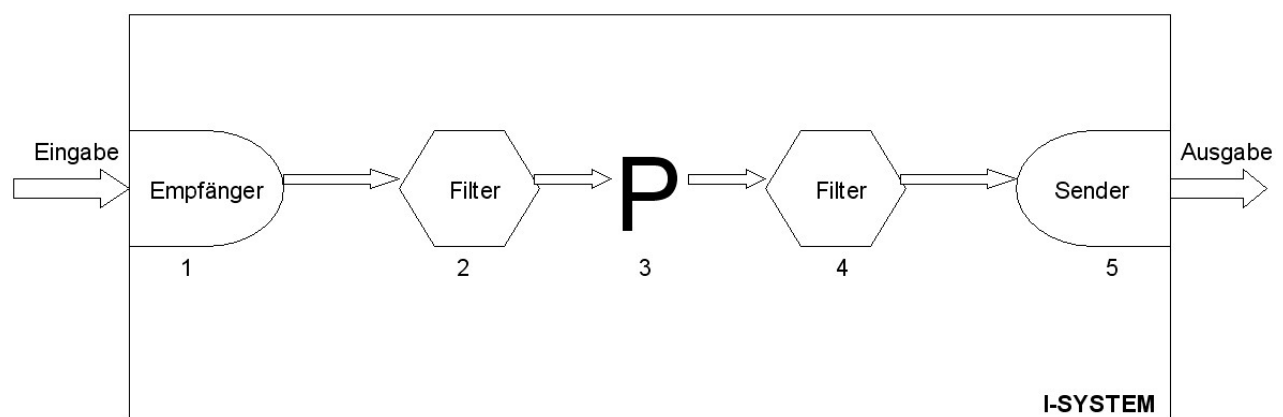
2.2.2 Semiotik und Information nach Doede Nauta jr.

Ein weiterer Wissenschaftler, der sich umfassende Gedanken zur Information gemacht hat, ist der Kybernetiker Doede Nauta jr. Im Gegensatz zu MacKay will er nicht eine neue Informationstheorie neben bestehende Theorien stellen, sondern er entwirft einen konzeptionellen Überbau über bestehende und noch zu entwickelnde Informationstheorien. Ähnlich wie Wiener betrachtet Nauta die Information als Bindeglied zwischen geisteswissenschaftlichen und naturwissenschaftlichen Fächern. Ein umfassender Rahmen müsste demnach die Vorstellungen aus beiden Lagern in sich vereinen. Da Information von der Zeichenübertragung handelt, sieht Nauta in der kybernetischen Auslegung des Begriffsinstrumentariums der Semiotik (Zeichenlehre) eine Lösung des Problems. Neben den gebräuchlichen semiotischen Begriffen Morriischer Prägung wie Syntax, Semantik und Pragmatik ⁽¹¹⁾ ist für Nauta besonders der Begriff der Semiose wichtig. Unter Semiose oder Zeichenprozess verstehen die Zeichentheoretiker die Tatsache, dass ein Zeichen, von einem Individuum wahrgenommen, dieses zu einer Reaktion veranlasst, welche häufig in Form eines spezifischen Verhaltensmusters abläuft. Die von Nauta verwirklichte kybernetische Interpretation der Semiose (Figur 2) stellt das Grundmodell seiner Theorie dar.

Im Gegensatz zu Shannons Kommunikationsmodell (Figur 1), in welchem ein Sender verbunden durch einen Kanal einem Empfänger gegenübersteht, wird in Figur 2 das informationsempfangende, -verarbeitende und -aussendende System (das sogenannte I-System) als ganzes betrachtet. Die Semiose vollziehe sich im I-System auf folgende Weise: Ein Informationsträger werde vom Empfänger eingefangen und vom nachfolgenden Filter als Zeichen erkannt. Dadurch werde der innere Zustand des I-Systems (P) verändert. Diese Veränderung wiederum rege den nachfolgenden Filter an, ein zielgerichtetes Verhaltensmuster vorzubereiten, welches über den Sender an die Aussenwelt abgegeben wird. Das Zeichen, welcher Art auch immer es sei, beinhalte deshalb:

- 1) einen geordneten inneren Aufbau (syntaktische Komponente), denn sonst könne es nicht als Zeichen erkannt werden,
- 2) eine Bedeutung für das I-System (semantische Komponente), andernfalls würde sich der innere Zustand P nicht ändern, und
- 3) einen Stimulus, der das I-System zum Handeln anregt (pragmatische Komponente), sonst würde nämlich kein Verhaltensmuster erzeugt und freigegeben.

Informationstheorien, die diese Erkenntnis nicht berücksichtigen, sind nach Nauta unvollständig.



Figur 2: Das I-System: ein Kybernetisches Modell der Semiose.

⁽¹¹⁾ Die hier aufgeführten semiotischen Begriffe werden in Kapitel 3.1 vertieft behandelt.

Phänomenologisch sieht Nauta eine enge Beziehung zwischen Information und Unwahrscheinlichkeit, indem er sagt:

“Information is news: what is known already is no information. So, something is information to the extent that it is unknown, unexpected, surprising, or: improbable.” [Nauta 1970, S. 16]

Da sich die Information auf diskrete Art und Weise vollziehe, fordert Nauta in Anlehnung an [Khinchin 1957] für alle Informationstheorien als Voraussetzung ein finites Schema, ausgedrückt durch ein sogenanntes 'Universum' A und die entsprechende Wahrscheinlichkeits-Verteilung p :

$$\{A, p\} = \left\{ \begin{array}{cccc} A_1, & A_2, & \dots & A_N \\ p_1, & p_2, & \dots & p_N \end{array} \right\}, \text{ wobei } 0 \leq p_i \leq 1 \text{ für } i = 1, 2, \dots, N$$

Die dazugehörige Unwahrscheinlichkeitsfunktion H müsse die folgende Form haben:

$$H = - \sum_i p_i \log p_i \quad \text{Formel 3}$$

Nauta hat damit nach eigenen Angaben die Grundlage für die Unterteilung der Informationstheorien in drei Grundkategorien geschaffen:

- 1) Die 'zero-semiotische' Informationstheorie: Damit meint Nauta Shannons Kommunikationstheorie, die nur den übermittlungstechnischen Aspekt von Signalen berücksichtige, aber von deren Semiose abstrahiere ⁽¹²⁾. 'A' repräsentiere ein Alphabet von Übermittlungssignalen oder potentiellen Mitteilungen einer Nachrichtenquelle, 'p_i' die Auftretenshäufigkeit des Signals 'A_i' und 'H' die potentielle Information der Nachrichtenquelle.
- 2) Die 'semiotische' Informationstheorie, die als Überbegriff für die Analyse der Signal-, Zeichen- und Symbolsemiose stehe ⁽¹³⁾. 'A' repräsentiere hier einen Vorrat an Signalen, Zeichen oder Symbolen, welche als Nachricht für ein gegebenes I-System eingesetzt werden, 'p_i' die subjektive Wahrscheinlichkeit der Nachricht 'A_i' relativ zum I-System und 'H' die Menge der psychologischen oder physiologischen Information.
- 3) Die 'metasemiotische' Informationstheorie, welche sich in die Teildisziplinen der syntaktischen, der semantischen und der pragmatischen Informationstheorie aufteilen lasse: In diesem Falle repräsentiere 'A' ein Universum von in einer Objektsprache formulierten Aussagen, welche sich von einem metasemiotischen Standpunkt aus analysieren lassen; 'p' stehe für die logischen Wahrscheinlichkeiten und 'H' für die Menge der syntaktischen, semantischen oder pragmatischen Information.

In seiner Arbeit richtet Nauta sein Augenmerk besonders auf die dritte Kategorie, die 'metasemiotische' Informationstheorie, indem er für die drei Teildisziplinen den notwendigen Rahmen zur Ausformulierung einer Theorie absteckt, soweit der vormalige Wissensstand dies zulässt.

Die syntaktische Informationstheorie ist nach Ansicht Nautas weit fortgeschritten, denn die deskriptive Informationstheorie MacKays habe wesentliche strukturelle Aspekte bereits formuliert. Nauta sieht eine Verwandtschaft zwischen dem Universum 'A' und der Menge der Logonen einerseits und der Wahrscheinlichkeitsverteilung 'p' und dem Metronengehalt andererseits. Damit wäre der deskriptive Informationsgehalt MacKays eine adäquate, jedoch noch anzupassende Grösse für den H-Wert aus Khinchin's Theorie der finiten Schemata.

⁽¹²⁾ Hiermit widerspricht Nauta anderen Forschern, welche Shannons Beitrag als syntaktische Informationstheorie bezeichnen. Nauta ist der Meinung, dass Shannon auch von den syntaktischen Aspekten abstrahiere.

⁽¹³⁾ Die 'semiotische' Informationstheorie stellt nach Nauta mitunter den Rahmen zur Beschreibung der Erbinformation und der unadressierten Information (Bsp: der plötzlich vor mir stehende Löwe) dar.

Weniger erfolgversprechend sei die Situation bei der semantischen Informationstheorie, weil dazu wenig mehr als eine phänomenologische Beschreibung existiere. In Anlehnung an [Popper 1965], [Hintikka 1968], [Bar-Hillel 1964] und [Cherry 1963] will Nauta eine Beziehung zwischen semantischer Information und Unwahrscheinlichkeit erkennen. Ein Satz trage um so mehr semantische Information, je präziser er einen Sachverhalt ausdrücke, was ihn wiederum unwahrscheinlicher mache ⁽¹⁴⁾.

Am meisten Schwierigkeiten bereitet Nauta die Umschreibung der pragmatischen Information, da bisher kein befriedigendes wissenschaftliches Konzept zu ihrer Messung existiert. Die pragmatischen Aspekte seien jeweils eng verbunden mit dem situativen Kontext, in welchem das I-System zur Zeit der Informierung steht. Individuelle Gesichtspunkte wie Informationsbedürfnis und Motivation spielen eine wichtige Rolle. Daraus leitet Nauta einstweilen ab, dass unter Umständen der Geldwert, den ein Individuum (I-System) für die Erlangung einer Information zu bezahlen bereit ist, ein Mass für die pragmatische Information darstellen könnte.

Doede Nauta jr. setzt mit seiner Arbeit, die nebenbei erwähnt als Ganzes einen interessanten historischen Beitrag zum Thema darstellt, gewiss einen Meilenstein in der Informationstheorie. Er präsentiert ein glaubhaftes Modell, mit welchem sich die vielen, scheinbar widersprüchlichen Ansätze in einen einheitlichen Rahmen stellen lassen. Nach eigenen Angaben skizziert er damit ein Konzept, in welchem sich neben der kommunikativen auch die beobachtete und neben der adressierten auch die unadressierte Information darstellen lässt. Seine Informationstheorie umfasst demnach auch die Fachbereiche des philogenetischen und des ontogenetischen Lernens. Doch ähnlich wie MacKays deskriptive Informationstheorie ist auch Nautas semiotisches Rahmenkonzept zur Information heute fast gänzlich aus der wissenschaftlichen Diskussion verschwunden. Die Gründe dafür liegen auf der Hand:

- Nauta hat seine Vorstellungen in wesentlichen Teilen, insbesondere im metasemiotischen Bereich, unpräzise formuliert. Es fehlt besonders zur Semantik und zur Pragmatik ein befriedigendes Taxonomiekonzept, das vermutlich im Rahmen der Semiotik kaum zu entwerfen sein dürfte.
- Das beinahe kritiklose Übernehmen des semiotischen Begriffsinstrumentariums ist zumindest fragwürdig. Die Semiotik, eng verwandt mit der behavioristischen Psychologie, basiert auf einem rigorosen Reiz-Reaktions-Paradigma und tut sich schwer mit der Erklärung kognitiver Phänomene. Die moderne Hirnforschung hat aber erkannt, dass das ontogenetische Lernen von Lebewesen keineswegs nur auf Erfahrungslernen und damit auf der Semiose beruht (vgl. dazu [Singer et al. 1990]).
- Gewisse, auch Nauta bewusste Mängel des Systems werden auf zweifelhafte Weise behoben: Wenn er etwa die unadressierte Information in seine Betrachtungen einbezieht, schlägt er mangels Alternativen vor, die innere Repräsentation einer Wahrnehmung als Zeichen des wahrgenommenen Objekts zu betrachten. Dies ist zumindest eine gewagte Erweiterung des Morrisschen Zeichenbegriffes (vgl. Kapitel 3.1).

Ungeachtet dieser Kritik müssen die Erkenntnisse der Semiotik auch in künftige Definitionsversuche der Information einfließen, denn die Kategorien der Semiotik erlauben eine strukturelle Klassifizierung aller Zeichensysteme (Gebärden, Sprache, Schrift u. a.). Das unkritische Adaptieren der Paradigmen führt aber offensichtlich nicht zum Ziel.

2.3 Weiterführende Gedanken

2.3.1 Redundanz und Information nach Helmut Seiffert

Die beiden Forscher MacKay und Nauta haben als erklärte Widersacher Shannons eigenständige Bestimmungsversuche der Information verwirklicht. Daneben gibt es aber zahlreiche Wissenschaftler, die

⁽¹⁴⁾ Nauta zeigt dies am folgenden Beispiel: Der Satz 'A train will leave from London to Edinburgh today' ist wahrscheinlicher, hat indes einen kleineren semantischen Gehalt als der Satz 'A train will leave from King's Cross for Ed. at 10 a. m. today'.

Shannons Theorie, ergänzt mit eigenen Gedanken, übernommen haben. Mit Helmut Seiffert sei ein Geisteswissenschaftler präsentiert, welcher Shannons Theorie in sein psychologisch-soziologisches Umfeld einbettet. Dabei hat er sich neben anderem intensiv mit dem Begriff der Redundanz ⁽¹⁵⁾ auseinandergesetzt und ist zu sehr interessanten Schlussfolgerungen gelangt.

Seiffert hält fest, dass in der Nachrichtentechnik mit Redundanz der Überfluss an Information in einer Meldung bezeichnet wird. Dieser Überfluss sei nicht in jedem Falle nutzlos, sondern es wird im Gegenteil häufig bewusst Redundanz zur Fehlererkennung oder zur Wiederherstellung von bei der Übertragung verstümmelten Meldungen eingebaut. Die Psychologie kennt nach Seiffert Entsprechungen zu diesem Phänomen, indem er sagt:

“Die Psychologen nennen eine Figur, die uns energisch zu verstehen gibt, dass sie als Einheit gesehen werden will, eine ‘Gestalt’. (...) Eine Gestalt oder ein Text, die ihre einzelnen Bestandteile auch dann erschliessen lassen, wenn sie teilweise verstümmelt sind, kann man als ‘redundant’ bezeichnen.” [Seiffert 1968, S. 67 f.]

Daraus folgert er:

“Redundanz ist (...) ganz unabhängig von irgendwelchen ‘Störungs’problemen die geordnete, keine Überraschung bietende Art und Weise, in der die Teile oder Elemente eines Ganzen aufeinander bezogen sind. In diesem Sinne ist ‘Redundanz’ die Wahrscheinlichkeit, mit der bestimmte Elemente innerhalb eines Zusammenhanges auftreten. Je wahrscheinlicher dieses Auftreten ist, um so grösser die Redundanz, um so grösser die Ordnung der einzelnen Elemente.” [Seiffert 1968, S. 69]

Seiffert fordert also implizit die Ziehung einer neuen Systemgrenze für die Betrachtung der Redundanz. Während Shannon getreu der linguistischen Überlieferung die Systemgrenze beim Sender sieht (für ihn ist die Redundanz die vom Sender erzeugte überflüssige Information), will Seiffert auch den Empfänger, oder besser das ganze Kommunikationssystem von Figur 1, in die Untersuchungen einbeziehen. Für ihn sind also in einem Kommunikationssystem neben der kodierten Redundanz auch jene gesendeten Teile redundant, die dem Empfänger bereits bekannt sind. Damit interpretiert Seiffert das, was nach Shannon das apriorische Wissen der Destination gegenüber der Informationsquelle ist, als die Redundanz des Kommunikationssystems. Die Informierung könne deshalb auch als Redundanzprozess des Empfängers betrachtet werden, in dessen Verlauf der Informationsbestand immer grösser und der benötigte Informationszuwachs immer kleiner werde. Ein Gegenstand enthalte also:

- 1) objektive Information (die Gesamtheit dessen, was ein Empfänger über einen Gegenstand wissen kann) und
- 2) subjektive Information (das, was der Empfänger über den Gegenstand noch nicht weiss).

Der gegenstandsbezogene Informationsbestand des Empfängers (die Differenz zwischen objektiver und subjektiver Information) sei also gleichbedeutend mit seiner Redundanz bezogen auf den Gegenstand.

Der Redundanzprozess macht nach Seiffert zwar die Welt ‘informationsarm’, aber er hilft auch bei der Bildung von Zusammenhängen. So wäre soziales Leben unmöglich, wenn einem jede Woche ausschliesslich neue Gesichter begegneten. In diesem Sinne schaffe die Redundanz Bekanntheitsbeziehungen. Besonders redundant seien für uns heute auch die Musik von Meistern wie Händel und Mozart und andererseits auch Schlager, die nach bestimmten eingefahrenen Schemata gefertigt werden. Bei einem geschichtlich ungewohnten Musikstil müsse sich hingegen erst allmählich eine solche Redundanz einstellen.

Mit seinen Betrachtungen rückt Helmut Seiffert den Begriff der Redundanz in ein neues Licht. Sind die Kommunikationstheoretiker der Meinung, die Redundanz sei ein lästiger Nebeneffekt ineffizienter Kodierung, so ist die Kommunikation nach Seiffert erst durch das Vorhandensein von Redundanz möglich.

⁽¹⁵⁾ Das Wort Redundanz war wie das Wort Information bereits im klassischen Latein gebräuchlich. Sprachlich kommt es vom Lateinischen ‘unda’ = die Welle und bedeutet wörtlich das gleiche wie ‘Überfluss’.

In diesem Sinne ist auch die Sprache, die in einer Gesellschaft gesprochen wird, in jedem Mitglied redundant vorhanden. Diese Überlegungen stellen uns vor weitere Fragen wie beispielsweise:

- Kann ein Computer überhaupt etwas erfahren, was für ihn nicht von vornherein redundant ist?
- Ist es vielleicht unser Vermögen, nichtredundante Fakten zu erfassen, das die menschliche Intelligenz von den Fähigkeiten eines Computers unterscheidet?

Die Antworten auf diese Fragen sind nicht offenkundig, denn es geht dabei um nichts geringeres als um die heute noch ungelöste Frage, ob künstliche Intelligenz möglich sei. Die vorliegende Arbeit, deren Aufgabe es nicht ist, diesem Problem auf den Grund zu gehen, wird sich dazu höchstens in spekulativer Form äussern.

2.3.2 Gedanken zur Prinzipienhaftigkeit der Information von Hans Titze

Neben den Informationstheorien an und für sich fand auch die Idee der Information als neues Weltprinzip ein breites Interesse und regte Philosophen wie Hans Titze zu kritischen Überlegungen an. Wäre nämlich die Information wirklich ein Prinzip, so müsste selbstverständlich ein neues philosophisches Denken entstehen. Hans Titze versucht in [Titze 1971] diese These zu entkräften.

In Anlehnung an die von Husserl entwickelte phänomenologische Methode will Titze einen klaren Begriff von der Information erhalten. Wie Seiffert übernimmt er dazu das Shannonsche Kommunikationsmodell aus Figur 1. Er hält fest, dass Sender und Empfänger einen Menschen oder eine Maschine repräsentieren können. Der 'Nachrichtenkanal' stelle hingegen als akustischer, optischer oder elektrischer Kanal immer etwas Physikalisches dar.

In bezug auf den Informationsvorgang ist nach Titze die Situation beim Empfänger besonders interessant. Phänomenologisch gebe es drei Möglichkeiten (vgl. [Titze 1971, S. 102]):

- 1) Man hat die Information vor der Informierung nicht gekannt.
- 2) Man hat die Information bereits gekannt, erhält sie aber noch einmal.
- 3) Man hat bisher eine der neuen Information widersprechende gekannt und muss die bisherige Information als falsch erkennen.

In jedem der drei Fälle werde das Wissen im Empfänger geordnet. Unter 'Ordnen' versteht Titze den Übergang von einem wahrscheinlicheren in einen unwahrscheinlicheren (selteneren) Zustand. Dieses Ordnen erfolge jeweils durch den Informationsgeber, den Sender, wenn er eine Information beabsichtige. Es bestehe also ein Zusammenhang zwischen Information und Kausalität, denn man stelle bei beiden Fällen dieselben Kennzeichen fest: Zeitlichkeit, Gerichtetheit, Stetigkeit (im klassischen Sinne), Faktizität, Verschiedenheit der Anfangs- und Endzustände. Zusätzlich zum kausalen Vorgang sei der Endzustand immer eine hinzutretende Determinante kausaler Vorgänge. Information sei damit ein Vorgang, der einen Zustand höherer Ordnung herstelle und damit weitere Vorgänge auslösen könne. Titze folgert daraus, dass es ohne Information keinen kausalen Vorgang gebe. Der Informationsbegriff sei deshalb nur ein anderer Ausdruck für den Ursachenbegriff:

“Man hat also mit der Information im Grunde genommen gar nichts wesentlich Neues gefunden. (...). Information ist weiter nichts wie Ursache. (...). Hierbei kann sie auch Ursache für das Nichtablaufen eines Vorganges oder, was auch möglich ist, das Weglassen einer Determinante sein.” [Titze 1971, S. 135]

“Information (...) ist nur (...) die Begründung für den Ablauf eines Vorganges, der auch ein Denkvorgang sein kann. Am Ende steht dann eine Nachricht, die ein denkendes Wesen informieren kann. Das Ende ist die Wirkung, die (...) wiederum Ursache für einen weiteren Vorgang sein kann.” [Titze 1971, S. 138 f.]

Für Titze ist demzufolge Information als Ursache nur Teil eines kausalen Vorganges an Materie (Empfänger) mit Energieübertragung (Kanal). Information sei also selbständig ohne Materie und Energie nicht möglich und könne deshalb auch kein neues Prinzip neben Materie und Energie sein.

Damit hat Titze einen neuen Aspekt in die Diskussion um den Informationsbegriff eingebracht, dessen Weiterverfolgung nicht vernachlässigt werden sollte. Andererseits darf die Idee, Information mit Ursache gleichzusetzen, nicht ungeprüft in die Begriffsbestimmung der Information einfließen. Dass das Kausalitätsprinzip mit Shannons Kommunikationssystem abgebildet werden kann, scheint auf der Hand zu liegen und wird durch die Argumentation Titzes erhärtet. Seine Umkehrung hingegen, nämlich dass die Information ein hinreichendes Kriterium für die Ursache sei, kann nicht ohne weiteres akzeptiert werden, wenn das Ziel einer umfassenden Begriffsbestimmung verfolgt wird. Damit würden nämlich MacKays Logonenkonzept und Seifferts objektive Information nicht als Information betrachtet, weil beide nicht an kausalen Vorgängen teilhaben, sondern bloss strukturelle Eigenschaften von sogenannten Informations-elementen beschreiben. Dieses Opfer darf aber gewiss nicht hingenommen werden.

2.3.3 Wissen und Informationsfluss nach Fred I. Dretske

In vielen Beiträgen zum Informationsbegriff wird auf den Zusammenhang zwischen Wissen und Information hingewiesen, nirgends aber so tiefgründig analysiert wie in Fred I. Dretskes Werk: "Knowledge and the Flow of Information". Er versucht darin, mit Hilfe von Shannons Konzept der Informationsübertragung zu erklären, wie Wissen zustande kommt. Hierbei ist er stets darum bemüht, Information gegenüber anderen Begriffen wie Kausalität oder Bedeutung abzugrenzen. Dabei gelangt er zuweilen zu anderen Schlüssen als die weiter oben zitierten Autoren.

Eine erste Konfusion kann nach Dretske entstehen, wenn Information und Kausalität nicht auseinandergehalten werden. Zwar hänge der Informationsfluss in den meisten Fällen von kausalen Prozessen ab ⁽¹⁶⁾, doch seien die informationellen und die kausalen Beziehungen zwischen Sender und Empfänger von grundsätzlich verschiedener Natur. Der Hauptunterschied lasse sich sehr gut am Beispiel in Figur 3 erklären. Gegeben seien je ein Sender und ein Empfänger, die sich unter anderem im Zustand s_2 respektive r_2 befinden können. Falls die Regel gelte, dass der Zustand s_2 im Sender immer den Zustand r_2 im Empfänger bewirke, so handle es sich hierbei um eine kausale Beziehung. Die Information, die dadurch übertragen werde, könne damit aber noch nicht angegeben werden. Hierzu sei die Kenntnis der übrigen möglichen Zustände des Senders mit den entsprechenden Auftretenswahrscheinlichkeiten notwendig. Deshalb kann Dretske nicht wie Titze Information mit Ursache gleichsetzen, sondern er vermutet eigene informationelle Beziehungen neben den kausalen Beziehungen zwischen Sender und Empfänger (vgl. [Dretske 1981, S. 26 ff.]).



Figur 3: Kausale Beziehung zwischen Sender und Empfänger.

Ein weiteres Problem besteht nach Dretske in der ungenügenden Abgrenzung von Information gegenüber Bedeutung. Die Bemühungen der Vergangenheit, eine semantische Informationstheorie zu definieren, seien vorwiegend am Versuch gescheitert, die Information konzeptionell dem Bedeutungsbegriff anzugleichen. Für Dretske stellt nämlich sowohl Information als auch Bedeutung je ein eigenständiges semantisches Konzept dar, weshalb die in ein Signal eingepackte Information nicht notwendigerweise mit der Bedeutung desselben Signals in Relation stehen müsse (vgl. [Dretske 1981, S. 42 ff.] ⁽¹⁷⁾).

⁽¹⁶⁾ In [Dretske 1981, S. 32 ff.] konstruiert Dretske Beispiele von Informationsübertragungen, die nicht von kausalen Prozessen abhängen.

⁽¹⁷⁾ Dretske umschreibt diesen Sachverhalt mit der Aussage, dass ein Signal zwar Bedeutung habe, aber Information trage. Der damit neu eingeführte Begriff des 'Tragens' einer Information wird weiter hinten im Werk folgendermassen umschrieben: "The signal carries as much information about s as would be generated by s 's being F " [Dretske 1981, S. 63]. Dabei spielt s die Rolle der Zustandsvariable des Senders, und F ist ein möglicher Wert dieser Variablen.

Der Unterschied zwischen Information und Bedeutung wird aber erst deutlich, wenn Dretske in seine informationsbasierte Theorie des Wissen einführt. Ähnlich wie in MacKays Beitrag (vgl. Kapitel 2.2.1) wird auch hier die Meinung vertreten, dass mit Information Wissen vermehrt wird. Die deshalb notwendig gewordene Bestimmung von Wissen lautet folgendermassen:

“K knows that s is F = K's belief that s is F is caused (or causally sustained) by the information that s is F.” [Dretske 1981, S. 86]

Das Wissen wird dadurch als abgeschlossener Informationsakt postuliert. Weil Wissen (und desgleichen Glauben) durch kognitive und deshalb gemäss Dretske digitale Strukturen repräsentiert werde, Information hingegen sowohl aus analogen Sinnesdaten als auch aus digitalen Strukturen bestehen könne, werde ein solcher Informationsakt meistens durch einen Digitalisierungsvorgang analoger Strukturen begleitet (vgl. [Dretske 1981, S. 135 ff.]). Damit schaffe man automatisch die Möglichkeit, semantischen Gehalt zu bilden, denn die semantischen Strukturen können nach Dretske einzig in digitaler Form vorkommen. Dieses Erkenntnis sei wichtig für die Auseinanderhaltung von Bedeutung und Information, denn während Dretske die Bedeutung für ein kognitives Konzept hält, das deshalb ausschliesslich digital in Erscheinung trete, gelte für die Information, welcher Dretske die Kognitivität abspricht:

“Structure S has the fact that t is F as its semantic content = S carries the information that t is F in digital form.” [Dretske 1981, S. 177]

Nach Dretske lässt sich Wissen als gerechtfertigte wahre Überzeugung ('justified true belief') bezeichnen (vgl. [Dretske 1981, S. 85]). Dies impliziert, dass Wissen aus faktengerechten und damit aus wahren Bestandteilen aufgebaut ist, während Glauben auch auf falschen Tatsachen gründen kann. Weil diese Verifizierung bekanntlich mittels eines Informationsvorganges abläuft, muss auch die Information dieser Einschränkung genügen, weshalb Dretske nur wahre Aussagen als Information akzeptiert.

In seinem Werk nimmt Dretske auch zur bereits weiter oben kurz aufgegriffenen Frage Stellung, ob künstliche Intelligenz, das heisst Intelligenz basierend auf einem formal-logischen, zur Informationsverarbeitung geeigneten System, möglich sei. Ein solches System müsse, sofern es sich für kognitive Attribute eignete, sogenannte hochgradige Intentionalität ('high-order intentionality') besitzen (vgl. [Dretske 1981, S. 172 f.]). Nur so könnten kognitive Stati wie Glauben, Bedeutung u. a. m. entstehen. Die Information und mithin die formal-logischen Systeme besässen zwar auch Intentionalität, jedoch nur in tiefgradiger Form (vgl. [Dretske 1981, S. 75 f. & 171 f.])⁽¹⁸⁾. Damit ist für Dretske die Unmöglichkeit der künstlichen Intelligenz hinlänglich erwiesen.

Dretskes Verdienst ist es, den Informationsbegriff gegenüber anderen Begriffen abgegrenzt und in einen erkenntnistheoretischen Kontext eingebettet zu haben. Dabei hat er allerdings den Bedeutungsraum des Informationsbegriffs derart stark eingeschränkt, dass nicht mehr alle früher als Information erkannten Phänomene darin Platz haben. So ist unadressierte Information in Dretskes Konzept nicht abbildbar, weil diese nicht eindeutig von einem Sender zu einem Empfänger übermittelt wird. Im weiteren wirft die zwar nirgends explizit festgehaltene, aber faktisch durchgezogene Beschränkung der Information auf den geistigen Bereich die Frage auf, ob so wichtige Aspekte wie die Erbinformation mit Dretskes Gedanken abgedeckt sind.

Ein zusätzlicher Mangel in Dretskes Theorie ist schliesslich die Forderung, dass die Information wahr sein solle. Damit wird ein beträchtlicher Teil des alltäglichen Gebrauchs des Informationsbegriffs aus der wis-

⁽¹⁸⁾ Dretske unterscheidet in [Dretske 1981, S. 172 f.] drei Grade der Intentionalität, die er mit folgenden Beispielen erklärt:

- Erster Intentionalitätsgrad: Alle F sind G. (...).
- Zweiter Intentionalitätsgrad: Es ist ein Naturgesetz, dass alle F G sind. (...).
- Dritter Intentionalitätsgrad: Es ist eine analytische Notwendigkeit, dass alle F G sind. (...).

Die Information besitze sodann den ersten Intentionalitätsgrad, während kognitive Stati wie Bedeutung und Glauben zweiten oder gar dritten Intentionalitätsgrad innehaben.

senschaftlichen Diskussion verbannt. Mehr als das: Alles, was sich nachträglich als falsch erweist, verliert rückwirkend das Attribut der Informationality. Ein solcher Gedanke müsste aber zum Paradoxon führen, dass beispielsweise ein Physikstudent, der in der Volksschule mit der Newtonschen Physik vertraut gemacht wurde, beim Erlernen der Relativitätstheorie erkennt, dass er in seiner Vergangenheit physikalisch nie informiert wurde, weil Newtons Theorie die physikalischen Phänomene bloss angenähert, nie aber richtig wiedergibt. Ähnlich würde es ebendiesem Studenten ergehen, wenn sich dereinst die Relativitätstheorie als falsch erweisen würde. Eine solche Anwendung ist aber mit dem Informationsbegriff, wie er in der vorliegenden Arbeit gesucht wird, nicht vereinbar. Gefragt wird nach einem wertfreien Begriff der Information an und für sich, unabhängig davon, wie sich die Information repräsentiert oder was für Attribute ihr anhaften. Die Wahrheit, die in diesem Zusammenhang als rein akzidentielles Merkmal betrachtet wird, spielt deshalb die Rolle einer durchaus wünschbaren, aber keinesfalls notwendigen Eigenschaft der Information. Eine andere Annahme würde, wie das eben beschriebene Beispiel zeigt, zu einer Grauzone von wenig plausiblen Fällen führen.

2.4 Abschliessende Bemerkungen

Die Diskussion um den Informationsbegriff ist, von wenigen Ausnahmen wie Dretskes Beitrag abgesehen, seit Mitte der 70er Jahre allmählich abgeebbt und lässt bis heute keine Anzeichen einer Wiederaufwallung erkennen. Offenbar hat sich die Fachwelt mit den ungelösten Problemen um die Begriffsdefinition abgefunden und begnügt sich mit den Ergebnissen, welche auf Shannons Informationsbegriff bauen. In gewissen technisch-wissenschaftliche Kreisen ist sogar eine Art Bunkermentalität festzustellen, indem der Versuch, den Informationsbegriff auf andere Bereiche als den rein nachrichtentechnischen Bereich anzuwenden, als nutzlose Spekulation abgetan wird:

“Der Begriff 'Information', wie er in der Informationstheorie gebraucht wird, (...) wurde (...) in den 50er und 60er Jahren sehr populär und von Laien spekulativ auf Gebiete angewendet, wo (er) absolut nicht anwendbar ist. Versuche, das gesamte menschliche Denken als Informationsübermittlung und Datenspeicherung im Sinne der Informationstheorie zu erklären und zu deuten, sind zumindest ebenso komisch, wie die ernsthaften Bemühungen eines Christian Kramp (...) am Anfang des 19. Jahrhunderts, den menschlichen Blutkreislauf und seine krankhaften Störungen mit Hilfe von Differentialgleichungen zu erklären.” [Heise/Quattrocchi 1983, S. 92]

Werner Heise und Pasquale Quattrocchi übersehen dabei, dass gerade die Modelle des menschlichen Denkens massgeblich an der ursprünglichen Bestimmung des statistischen Informationsbegriffs Shannons beteiligt gewesen sind (vgl. [Wiener 1963, S. 171 ff.]). Der Grund für den bescheidenen Erfolg, den Informationsbegriff auf andere Gebiete anzuwenden, liegt aber höchstwahrscheinlich vielmehr darin, dass zu viele grundsätzliche Fragen noch nicht verbindlich gelöst sind wie beispielsweise:

- 1) Die Frage nach dem Charakteristikum der Information: Ist die Information gleichzusetzen mit dem Prozess, der Wissen vergrössert, oder ist Information das Wissen selber als strukturierter Gegenstand?
- 2) Die Frage nach dem Informationsträger: Ist der letzte Träger der Information das Bit als Repräsentant für die kleinste Menge, aus welcher eine Auswahl möglich ist, oder ist es das Zeichen als kleinste Einheit der Wahrnehmung?
- 3) Die Frage nach einem geeigneten Mass der Information: Ist Shannons Entropie als das Mass der möglichen Nachfolgezustände oder MacKays deskriptiver Informationsgehalt als Mass der strukturellen Mächtigkeit eines Informationselementes das richtige Konzept zur Messung der Information? Oder gibt es womöglich mehrere, voneinander unabhängige Informationstheorien mit je einem eigenen, noch zu definierenden Mass, wie dies Nauta vorschlägt?

Alle drei Fragen repräsentieren nichts anderes als den Konflikt zwischen der funktionell-kybernetischen und der strukturell-attributiven Sicht der Information. Es scheint, als ob die Zusammenführung dieser

vermeintlich unvereinbaren Standpunkte eine Voraussetzung sei für eine umfassende Definition der Information, in der sodann auch die an Materie gebundene Information wie Erbinformation oder das Phänomen der unadressierten Information ihren Platz findet.

3. GRUNDBEGRIFFE

Der geschichtliche Überblick hat gezeigt, dass viele prinzipielle Fragen rund um den Informationsbegriff nicht gelöst sind. Besonders unbefriedigend ist dabei das Faktum, dass sich mit Shannons mathematischer Kommunikationstheorie und MacKays Theorie der deskriptiven Information zwei anscheinend unverträgliche Konzepte der Information gegenüberstehen. Zwar hat sich einstweilen das Shannonsche Konzept im technischen Bereich durchgesetzt, jedoch kann die Streitfrage noch nicht ad acta gelegt werden, denn diese Theorie verdankt ihren Erfolg primär der besseren Praxistauglichkeit und nicht einer allgemeinen Anerkennung als überlegene Lehre. Dass die Informationstheorie deshalb mit einem Informationsbegriff auskommen muss, der die semantischen Aspekte als irrelevant ausklammert, wird von nicht wenigen Informatikern nur widerwillig geduldet. In vielen Bereichen der modernen Informatikforschung wie etwa der Datenbanktechnologie, der künstlichen Intelligenz, der Theorie der neuronalen Netze u. a. m. wird zudem immer lautstärker eine Klärung gerade der semantischen Aspekte gefordert. Genau an diesem Punkt setzt aber die Theorie der deskriptiven Information von MacKay an. Leider gründet aber diese auf einem schwach fundierten Semantikbegriff und auf einem mangelhaften Einbezug von psychologischen Begriffen wie 'Lernen', 'Wissen' u. a. m. Es ist deshalb unumgänglich, die Grundbegriffe, auf denen die Informationstheorien der Vergangenheit basieren, im Rahmen dieser Arbeit ein weiteres Mal zu analysieren und gegebenenfalls alternative Bestimmungen vorzuschlagen. Nur so kann ein Fundament geschaffen werden, auf dem sich ein allgemeiner Informationsbegriff aufbauen lässt.

3.1 Begriffe der Zeichentheorie

Die Zeichentheorie oder Semiotik ist die Lehre von den Zeichen, besonders ihrer Struktur und Nachrichtenfunktion. Sie wurde durch ihre Gründer Charles S. S. Peirce und Charles W. Morris sehr allgemein festgelegt mit dem Ziel, auf diese Weise in die verschiedenen Disziplinen der Einzelwissenschaften einzudringen:

“The sciences must look to semiotic for the concepts and general principles relevant to their own problems of sign analysis. Semiotic is not merely a science among other sciences but an organon or instrument to all sciences.” [Morris 1938, S. 56]

In der Tat ist die Semiotik heute ein wichtiges Instrument der Kommunikationsforschung, der Sprach- und der Kunstwissenschaft sowie der Psychologie. Andere Wissenschaften, darunter die Informationstheorie, anerkennen zwar die potentielle Wichtigkeit der semiotischen Paradigmen für ihr Wissensgebiet, finden aber bislang kein befriedigendes Rezept, diese in ihre Domäne einzubeziehen.

Die Analyse des Zeichens, besonders seine syntaktischen, semantischen und pragmatischen Aspekte, bildet das hauptsächliche Tätigkeitsfeld der Semiotik. Aber auch andere Fragen wie jene des Ursprungs und des Adressaten eines Zeichens werden im Rahmen der Semiotik diskutiert. Getreu dem Grundsatz, dass die Methoden der Semiotik breite Anwendung finden sollen, werden nicht nur organische Substanzen wie Pflanzen, Tiere oder Menschen, sondern auch anorganische Objekte wie Maschinen oder Computer als Sender oder Empfänger von Zeichen akzeptiert. Damit wird insbesondere die Kommunikation zwischen Mensch und Computer zu einem semiotischen Problem.

3.1.1 Das Zeichen

Der Schlüsselbegriff der Semiotik ist das Zeichen. Für Peirce ist die wesentliche Eigenschaft des Zeichens seine Stellvertreterfunktion für ein Objekt. Da nach Peirce nur das Zeichen, nicht aber das Objekt

Bedeutung haben kann (vgl. Kapitel 3.1.2), wird das Zeichen zu einer Grundvoraussetzung des geistigen Lebens schlechthin, was mit dem Ausspruch: "Wir haben kein Vermögen, ohne Zeichen zu denken" [Peirce 1967, S. 186] unterstrichen wird. In diesem Sinne glaubt Peirce, dass der höchste Grad an Realität nur durch Zeichen erreicht werde.

Peirce unterscheidet nach ihrer Beziehung zu Objekten drei Arten von Zeichen:

- 1) Der Index, der auf etwas Übergeordnetes verweist (auf ein anderes Stichwort, Abzeichen).
- 2) Die Ikone, die eine bildliche Entsprechung zum Objekt gibt (Koffer und Schirm im Schild der Gepäckaufgabe).
- 3) Das Symbol, welches einen Bereich ohne anschauliche Entsprechung vertritt (Zahl, Rot für die Liebe).

Damit definierte Peirce eine Kategorisierung des Zeichens, die bis heute kaum je angefochten wurde.

Im Gegensatz zu Peirce befasste sich Morris weniger mit dem Charakter des Zeichens, sondern mehr mit dessen behavioristischem Moment. Für ihn ist das Zeichen integrierter Bestandteil eines Reiz-Reaktions-Schemas. Das Zeichen sei irgendetwas, das das Verhalten auf irgendetwas richte, das in diesem Moment nicht Stimulus sei. Ein Zeichen kann demnach erst dann als solches erkannt werden, wenn es im Interpretierer einen Prozess anregt, den Morris Semiose nennt und wie folgt definiert:

"Semiose (oder Zeichenprozess) kann als fünfstellige Relation - v, w, x, y, z - betrachtet werden, in welcher v in w die Disposition auslöst, in gewisser Art und Weise x auf ein gewisses Objekt y unter gewissen Bedingungen z zu reagieren. Die v sind, falls diese Relation besteht, die Zeichen, die w sind die Interpretierer, die x sind die jeweiligen Reaktionsdispositionen des Interpretierers, und die z sind die Kontexte, in welchen die Zeichen auftreten." [Morris 1964, S. 2]

Das Zeichen impliziert also nach Morris notwendigerweise Verhalten, ohne welches es gar kein Zeichen ist. Notwendig für die Existenz des Zeichens ist auch ein momentbezogener Verweis desselben auf ein Objekt und auf ein identifizierendes Subjekt, den Interpretierer. Im Unterschied zu Peirce erkennt Morris keine enge Beziehung zwischen Zeichen, Objekt und Interpretierer, sondern die Beziehung wird ad hoc bei deren Zusammentreffen gebildet:

"S is a sign of D for I to the degree the I takes account of D in virtue of the presence of S." [Morris 1938, S. 4]

Mit dieser sehr allgemeinen Bestimmung kann Morris viel mehr als bloss Buchstaben, Ziffern oder Hieroglyphen unter dem Begriff des Zeichens vereinen. Ein Zeichen kann ein Wort, ein Satz, eine Nachricht, ja sogar ein Bild sein. Da Morris die Aufnahmefähigkeit des Interpretierers keineswegs nur auf die visuelle Wahrnehmung beschränkt, können auch Gerüche, Geräusche oder gar Verhaltensmuster und vieles anderes mehr als Zeichen in Erscheinung treten.

3.1.2 Die drei Dimensionen des Zeichens

Wie unterschiedlich auch immer die Ansichten von Morris und Peirce sind in bezug auf die Frage, was als Zeichen gelten soll, so sind doch Gemeinsamkeiten in ihren Theorien festzustellen. Beide Forscher stellen übereinstimmend fest, dass das Zeichen in seinem Aufbau verschiedene Beziehungen einschliesst, die sich in drei disjunkte Mengen einteilen lassen:

- 1) Beziehungen zu anderen Zeichen, die den strukturellen Aufbau des Zeichens ausmachen,
- 2) Beziehungen zu Objekten, die die Referenzen von Zeichen zu Dingen der Aussenwelt festlegen, und
- 3) Beziehungen zu Subjekten respektive Interpretierern, worin die kommunikative Wirkung des Zeichens zum Ausdruck kommt.

Diese drei Beziehungsarten vertreten je eine der drei Dimensionen, die dem Zeichen innewohnen, nämlich die syntaktische, die semantische und die pragmatische Dimension. Für Morris sind die drei Dimensionen in kanonischer Weise miteinander verbunden, da keine von den anderen beiden abgeleitet werden kann, aber erst alle drei zusammen eine Semiose ermöglichen und damit das Zeichen als solches ausmachen.

Dementsprechend hat Morris vor allem die Begriffe Syntax, Semantik und Pragmatik in seinen Arbeiten diskutiert:

- **Syntax:**

Die Syntax sei jene Dimension des Zeichens, in der es zu verstehen gibt, dass es ein Zeichen ist, nicht aber, wofür es steht und was für ein momentbezogenes Verhalten es auszulösen vermag. In diesem Sinne wird die Frage nach dem Zeichen selbst und dessen Relation zu anderen Zeichen untersucht. Nach Morris kann also die Syntax auch als die Lehre der Beziehungen zwischen Zeichen betrachtet werden. Diese Beziehungen sollen nicht näher präzisierten syntaktischen Regeln gehorchen und dadurch die Bildung übergeordneter Zeichen ermöglichen. Damit können aus einzelnen Zeichen ganze Nachrichten oder gar Nachrichtenkomplexe, die ihrerseits wiederum Zeichen darstellen, gebildet werden.

- **Semantik:**

Ein Zeichen kann zwar syntaktisch korrekt aufgebaut sein. Ohne Semantik, die sich mit der Frage nach den Beziehungen der Zeichen zu ihren Designata ⁽¹⁹⁾ befasst, stellt es aber lediglich eine sinnleere Kombination von Zeichen dar. In diesem Sinne kommt dem Zeichen nach Morris erst dann Semantik zu, wenn ihm eine Beziehung zu einem bezeichneten Objekt oder einer bezeichneten Situation eigen ist. Ähnlich wie bei der Syntax fordert Morris auch für die Semantik das Vorhandensein von Regeln. Diese semantischen Regeln legen die Bedingungen fest, unter welchen ein Zeichen für ein Objekt oder eine Situation anwendbar ist.

- **Pragmatik:**

Unter Pragmatik versteht Morris die Beziehung eines Zeichens zu seinem Interpretierer, welche sich insofern zu erkennen gibt, als das Zeichen in der beteiligten Person eine Handlungsaufforderung darstellt, die dann tatsächlich im Rahmen einer Semiose in eine Handlung, oder allgemeiner in eine Reaktion, übergeht. Die pragmatischen Beziehungen müssen pragmatischen Regeln genügen, die angeben, unter welchen Bedingungen im Interpretierer ein Zeichenträger als Zeichen funktioniert und dadurch eine Semiose auslöst.

Damit hat Morris einen Rahmen zur Strukturdefinition des Zeichens abgesteckt, der auch ausserhalb der Anhängerschaft des Behaviorismus seine Akzeptanz gefunden hat. Der Grund dafür liegt wohl an der universellen Determination der Begriffe Syntax, Semantik und Pragmatik. Gefordert wird bloss das Vorhandensein syntaktischer, semantischer und pragmatischer Regeln, deren Formulierung aber den Einzelwissenschaften anheimgestellt ist.

3.1.3 Konfliktsituation

3.1.3.1 Schwierigkeiten mit dem Zeichenbegriff

Morris hat mit seiner universellen Bestimmung des Zeichens und seiner Struktur zweifellos eine bemerkenswerte Arbeit hinterlassen. Besonders die Emanzipation der Begriffe Syntax und Semantik von ihrem streng linguistischen Gebrauch als Satz- respektive Bedeutungslehre ermöglichte eine viel breitere Anwendung des Zeichenbegriffs als bloss auf die Sprachwissenschaften. Die strenge Bindung der neuen Bestimmungen an die Paradigmen des Behaviorismus musste aber früher oder später zu Problemen führen.

Unter den Behavioristen wird nämlich alles Verhalten, auch Sprache und Denken, anhand des Reiz-Reaktions-Modells erklärt. Dabei wird die individuelle Entwicklung vorwiegend auf Umwelteinflüsse zurückgeführt, wobei andere Entwicklungsvoraussetzungen wie etwa die ererbten Dispositionen eine bloss untergeordnete Rolle spielen. Der Behaviorismus sieht auch von aller Selbstbeobachtung und deren

⁽¹⁹⁾ Unter Designata werden in der Semiotik die Objekte verstanden, auf die durch eine semantische Beziehung eines Zeichens verwiesen wird.

Auswertung vollständig ab, denn das genaue Erfassen und Beschreiben des Verhaltens von Tieren und Menschen liefert ihm genügend Daten zur Untermauerung seiner Aussagen. Nach Gordon H. Bower und Ernest R. Hilgard wird dadurch aber nur die Anhäufung von prozeduralem Wissen (d. h. habituelle Fähigkeiten), nicht aber jene des Wissens um Tatsachen begründet (vgl. [Bower/Hilgard 1983 a, S. 36 ff.]). Auch die Erklärung von kognitiven Phänomenen wie das rein gedankliche Schliessen von bisher Gewusstem auf einen neuen Sachverhalt oder die Existenz von Einsicht beim Problemlösen kann von Behavioristen nur auf Umwegen über die Deutung kognitiver Strukturen als komplexe Gewohnheiten erarbeitet werden. Es ständen also wichtige Aspekte der Information auf wackeligen Fundamenten, würden die Grundbegriffe allein mit den behavioristischen Ansätzen begründet.

Das Zeichen als notwendiger Bestandteil einer Semiose, wie es Morris fordert, kann demnach nicht, wie von Nauta behauptet, in jedem Informationsereignis das Informationselement darstellen. Dies impliziert aber nicht, dass die Ideen und Ergebnisse der Semiotiker in den Betrachtungen zur Information zu verwerfen sind. Im Gegenteil, sie stellen den Leitfaden dar, dem entlang die Grundbegriffe der Zeichentheorie den Bedürfnissen der Informationstheorie angepasst werden.

Bereits in der Würdigung von Nautas Informationstheorie wurde festgestellt, dass der Einbezug der unadressierten Information in eine auf dem Morrisschen Zeichenbegriff basierten Theorie nicht befriedigend zu verwirklichen ist. Pro memoria sei erwähnt, dass Nauta in diesem Falle die innere Repräsentation des Objekts im Subjekt als Zeichen vorschlägt, wobei als semantische Beziehung sodann die Beziehung zwischen dieser inneren Repräsentation des Objekts und dem Objekt selber betrachtet würde. Da aber nach behavioristischer Gepflogenheit nie eine kognitive Struktur, sondern stets ein ausserhalb des Geistes liegendes Ding als Stimulus in einem Reiz-Reaktions-Schema wirkt, müsste im oben beschriebenen Vorgang das Objekt an die Stelle seiner inneren Repräsentation im Subjekt treten, was zur Folge hätte, dass dasselbe Ding sowohl die Rolle des Zeichens als auch die Rolle des Objekts spielte und die semantische Beziehung selbstbezüglich, das heisst zu einer Beziehung des Dinges auf sich selbst würde. Beides steht indessen im Widerspruch zu Morris' Forderung, dass Zeichen und Objekt verschieden sein müssten. Mit der Aussage "The functioning of signs is (...) a way in which certain existences take account of other existences through an intermediate class of existences" (vgl. [Morris 1938, S. 8]) setzt Morris darüber hinaus fest, dass neben Zeichen und Objekt auch der Interpretierer eine eigene Existenz haben muss, verschieden von den anderen an der Semiose beteiligten Entitäten. Folglich wird auch die Frage nach selbstbezüglichen Beziehungen betreffs der drei Zeichendimensionen hinfällig. Das semiotische Modell hält demnach in der vorliegenden Form dem Beispiel der unadressierten Information und ähnlich gelagerten Fällen nicht Stand.

Eine denkbare Verbesserung böte die Zulassung der Möglichkeit, dass dasselbe Ding tatsächlich mehrere Rollen in der gleichen Semiose spielen könnte. Das Faktum, Zeichen, Objekt oder Interpretierer zu sein, wäre dann nicht mehr eine eindeutige, zeitgebundene Funktion eines Dinges, sondern sie müsste als eine von mehreren gleichzeitig möglichen Rollen des Dinges betrachtet werden. Dadurch werden indes die klaren Unterscheidungsmöglichkeiten verwischt, die Morris zwischen Zeichen, Objekt und Interpretierer sieht, und einige Definitionen und Folgerungen der Semiotik müssten neu überarbeitet werden. Für den Informationstheoretiker, der in Morris' und Nautas Konzept bloss Teile einer funktionell-kybernetischen Information verwirklicht sieht ⁽²⁰⁾, entsteht dadurch eine zusätzliche Erschwernis, das Zeichen als Einheit der Information zu akzeptieren. Wenn darüber hinaus die strukturell-attributiven Aspekte (Information als Ordnung und Struktur) in die Bestimmung des Informationsbegriffs einbezogen werden sollen, wird eine neue Erörterung der Grundbegriffe unumgänglich. Hier wird nämlich nicht die Frage nach dem Auslöser eines kybernetischen Prozesses, sondern jene nach dem Aufbau und der Struktur eines passiven Elementes gestellt, das einzig per Akzidens selektiert und ausgewertet werden kann. Solche Merkmale sind jedoch eher dem Morrisschen Objekt denn dem Zeichen eigen. Wenn also eine Einheit der Information bestimmt werden soll, die die bisher bekannten Aspekte berücksichtigt, so muss diese ein Gemeinsames zwischen Zeichen und Objekt beinhalten, nämlich das Faktum, dass beides bloss mögliche Rollen

⁽²⁰⁾ Nach Nauta lässt sich die Morrissche Semiose als kybernetischer Prozess deuten, worin das Zeichen in der Rolle des Stimulus stets als Auslöser des Prozesses agiert (vgl. [Nauta 1970, S. 60 ff.]).

eines Dinges ⁽²¹⁾ darstellen. Das Informationselement ist somit nicht das Ding als Zeichen oder als Objekt, sondern es ist im Ding selber als 'Träger von Information' zu suchen, unabhängig von den semiotischen Rollen, die das Ding spielen kann (vgl. hierzu Kapitel 4.2). Ein solcher Vorschlag darf aber nicht postuliert werden, ohne zuvor die Konsequenzen für andere Begriffsbestimmungen, besonders jene der Morrisschen Zeichendimensionen, zu diskutieren.

3.1.3.2 Auseinanderhaltungsproblem der drei Zeichendimensionen

Neben dem Begriff des Zeichens bilden die drei Dimensionen des Zeichens, nämlich Syntax, Semantik und Pragmatik, die wichtigsten Begriffe der Semiotik. Morris verwendet sie bekanntlich zur Unterscheidung der wechselseitigen Beziehungen zwischen Zeichen einerseits und Zeichen, Objekt respektive Interpretierer andererseits. Er erreicht also nur deshalb eine Auseinanderhaltung der drei Beziehungstypen, weil er Zeichen, Objekt und Interpretierer klar voneinander unterscheiden kann. Da dies aber in der vorliegenden Situation nicht mehr gewährleistet ist, wird es offensichtlich schwierig, die drei Zeichendimensionen auseinanderzuhalten, so dass neue Kriterien einer entsprechenden Abgrenzung gesucht sind.

Das Augenmerk richtet sich vorerst auf die Verschiedenheit von Semantik und Syntax. In der herkömmlichen sprachwissenschaftlichen Begriffsbestimmung wird Semantik als die Lehre von der inhaltlichen Bedeutung einer Sprache oder allgemeiner als Bedeutungslehre bezeichnet, wobei man unter Bedeutung die vermittelnden Beziehungen zwischen den sprachlichen Elementen eines Satzes und den aussersprachlichen Dingen versteht. Ein einzelnes Exemplar solcher Beziehungen denke man sich demnach als eine gerichtete Beziehung, die vom sprachlichen Element weg hin zu einem Objekt der Außenwelt zielt. Wird Semantik wie im besprochenen Fall nur im sprachlichen Bereich angewendet, so ist das einzelne Bedeutungselement selten eindeutig. Eine allgemeine sprachliche Aussage ist nämlich eben dadurch gekennzeichnet, dass sie sich auf mehrere Situationen anwenden lässt. Jon Barwise und John Perry benennen dieses Phänomen in [Barwise/Perry 1987, S. 43 ff.] mit 'Effizienz der Sprache'. Es scheint demnach, als ob die sprachlichen Objekte wie Wörter, Aussagen, Sätze u. a. m. in eine Hülle von semantischen Beziehungen eingebettet sind, die einerseits auf das im Moment des Äusserungsereignisses der Aussage bezeichnete Objekt und andererseits auf weitere, in anderen Äusserungsereignissen derselben Aussage bezeichnete Objekte verweisen.

Bei genauer Analyse lässt sich ähnliches auch bezüglich des Zeichens im allgemeinen semiotischen Szenario Morrisscher Prägung aussagen. Wenn nämlich vom Einzelfall der Semiose abstrahiert und das Ding auf seine Möglichkeit hin untersucht wird, zu verschiedenen Zeitpunkten in verschiedenen Kontexten auf unterschiedliche Art die Rolle des Zeichens zu übernehmen, werden mit den entsprechenden semantischen Beziehungen des Dings als Zeichen in den Einzelfällen in aller Regel auf verschiedene Objekte verwiesen. Infolgedessen gibt es verschiedene vom Ding weg gerichtete Beziehungen, die je nach Situation den Morrisschen Kriterien einer semantischen Beziehung genügen mögen, was durchaus einer Verallgemeinerung der oben geschilderten sprachlichen Situation entspricht.

Syntax auf der anderen Seite heisst nach herkömmlicher Lesart wörtlich Zusammenführung und wird meistens als sprachwissenschaftlicher Terminus für die korrekte Verknüpfung der Wörter im Satz und für die Lehre vom Bau des Satzes verstanden. Während Syntax demnach für eine Menge von syntaktischen Regeln zum Aufbau eines Satzes steht, kann das einzelne syntaktische Element als eine eindeutige Beziehung eines Wortes hin zum resultierenden Satz betrachtet werden. Die Syntax eines Satzes besteht folglich aus der 'Zusammenführung' der einzelnen syntaktischen Elemente, also der Beziehungen aller im Satz verwendeten Worte zum Satz selber. Ähnlich wie bei der Semantik können wir also die Vermutung aufstellen, dass sprachliche Objekte wie Sätze, Aussagen, aber auch Wörter, insofern die Buchstabenreihenfolge als syntaktisches Problem betrachtet wird, gleichsam in eine Hülle syntaktischer Beziehungen eingebettet sind. Im Unterschied zur semantischen verläuft aber die einzelne syntaktische Beziehung nicht vom sprachlichen Gegenstand hin zu einem bezeichneten Objekt, sondern von einem (sprachlichen) Objekt her zum analysierten (sprachlichen) Gegenstand, zu dessen Konstitution es beiträgt.

⁽²¹⁾ Unter dem Begriff Ding sei einstweilen der ganze Morrissche Anwendungsbereich der Begriffe Zeichen, Objekt und Interpretierer subsumiert. Eine genauere Beschreibung folgt aber später.

Mit dieser Argumentation wäre die Richtung der Beziehung bezüglich des untersuchten Objektes ein hinreichendes Kriterium zur Unterscheidung von semantischen und syntaktischen Beziehungen. Damit widersprechen wir indes eindeutig der Morrisschen Bestimmung insbesondere des Syntaxbegriffes, denn Syntax ist nach Morris bekanntlich die Lehre der Beziehungen der Zeichen untereinander (vgl. [Morris 1938, S. 13 ff.]). Die Frage der Beziehungsrichtung wird dabei nicht gestellt. Damit impliziert Morris automatisch, dass im allgemeinen Fall ein Zeichen aus mehreren anderen, untergeordneten Zeichen bestehen kann, oder wie er selber sagt:

“(Syntax is) that branch of semiotic that studies the way in which signs of various classes are combined to form compound signs.” [Morris 1946, S. 355]

Richtigerweise schliesst Morris daraus, dass vom übergeordneten Zeichen Z_1 aus gesehen die Beziehungen mit den anderen ihm untergeordneten Zeichen als syntaktische Beziehungen zu verstehen sind, weil diese tatsächlich den Aufbau jenes Zeichens festsetzen. Wird nun aber dieselbe Situation von einem untergeordneten Zeichen Z_2 aus betrachtet, so kann dieselbe Beziehung $B(Z_2, Z_1)$, die von Z_1 aus als syntaktische Beziehung identifiziert wurde, auch anders interpretiert werden. Hier ist nämlich $B(Z_2, Z_1)$ eine unter mehreren denkbaren Beziehungen, die von Z_2 wegführen und $B(Z_2, Z_1)$ wird nur deshalb untersucht, weil sie per Akzidens an der analysierten Semiose partizipiert. Damit sehen wir uns bezüglich Z_2 mit einer Konstellation konfrontiert, die mit den Situationen um die Diskussion hinsichtlich der semantischen Beziehungen vergleichbar ist: Im Mittelpunkt steht ein Ding, das von weggerichteten akzidentiellen Beziehungen umgeben ist, die entsprechend dem situativen Kontext auf ein Ding verweisen. Es stellt sich also die Frage, ob $B(Z_2, Z_1)$ von Z_2 aus als semantische Beziehung interpretiert werden könnte. Eine Antwort darauf könnte Fred I. Dretskes Vorschlag geben, dass es neben Bedeutung, was ein kognitives semantisches Konzept darstelle, auch andere, nichtkognitive semantische Konzepte gebe, wie die Information eines sei. Nun kann aber die Beziehung, die ein Zeichen einem übergeordneten Ganzen als Bestandteil zuordnet, durchaus als informationelle Beziehung benannt werden, weil sie einerseits an der 'Formgebung' des übergeordneten Ganzen beteiligt ist und andererseits in der Lage ist, diese Teil-Ganzes-Beziehung dem Beobachter zu offenbaren.

Mit diesen Überlegungen, die dieselbe Beziehung je nach Standpunkt als syntaktische oder als semantische interpretieren lässt, wird es zusätzlich schwieriger, die beiden entsprechenden Zeichendimensionen Morris' auseinanderzuhalten. Der Unterschied entsteht nämlich erst dort, wo sich die Betrachtungen auf ein einzelnes Zeichen, respektive auf ein einzelnes Ding richten. In diesem Sinne wären die Beziehungen von einem anderen Ding zum betrachteten Ding die syntaktischen Beziehungen und jene vom behaupteten Ding aus hin zu anderen Dingen die semantischen Beziehungen⁽²²⁾.

Unter der Voraussetzung, dass die eben geäußerten Vermutungen richtig sind und dass der sprachwissenschaftliche Gebrauch des Syntax- und des Semantikbegriffes auf allgemeine Dispositionen angewendet werden kann, könnte jede gerichtete Beziehung zwischen zwei Dingen je nach Situation einmal zur semantischen und im anderen Falle zur syntaktischen Beziehung werden, je nachdem, welches der beiden durch die Beziehung verbundenen Dinge im Mittelpunkt des Interesses steht. Das Ding selbst, das zwar als einzelnes betrachtet werden kann, sich aber stets in einem situativen Kontext befindet, wird demgemäss umhüllt von je einer Menge syntaktischer (zu ihm hin gerichteter) und semantischer (von ihm weg gerichteter) Beziehungen.

Das eben skizzierte Modell reduziert das Problem, eine syntaktische oder eine semantische Beziehung zu erkennen, darauf, die Richtung der Beziehung zu ermitteln. Damit entstehen jedoch zwei neue Probleme, die einer Lösung harren. Einmal wird von der ursprünglichen semiotischen Definition derselben Begriffe derart stark abgewichen, dass die Vergabe von eigenen Namen für die neuen Bestimmungen angebracht ist, um Missverständnissen vorzubeugen. Deshalb soll hinfort syntaktisch durch **r_syntaktisch** respektive semantisch durch **r_semantisch** ersetzt werden, wenn das entsprechende Merkmal von der Richtung der Beziehung abgeleitet wurde. Ein zweites Problem besteht in der Tatsache, dass eine Beziehung nur eine

⁽²²⁾ In diesem Zusammenhang könnte die Tatsache, dass unter den Semiotikern die Beziehung $B(Z_2, Z_1)$ auch von Z_2 aus als syntaktische Beziehung interpretiert wird, mit der ausschliesslichen Fokussierung des Interesses auf die analysierte Semiose erklärt werden.

aus zwei möglichen Richtungen haben kann, so dass nur zwei der drei Zeichendimensionen der Semiotik abgebildet werden können. Die dritte Dimension, nämlich die pragmatische, bleibt dabei vorderhand auf der Strecke, und es stellt sich die Frage, wie diese für die Kommunikation wichtige Kategorie von Beziehungen in die Betrachtungen einbezogen werden könnte.

Die pragmatische Dimension des Zeichens ist nach Morris die Beziehung des Zeichens zum Interpretierer. Sie ist erkennbar an der Art der Reaktion des Interpretierers auf das Zeichen im Rahmen der Semiose, nicht aber anhand von Merkmalen des Zeichens selbst. Gewiss steht das Zeichen immer am Anfang einer Semiose, initiiert wird die Semiose aber stets durch das Subjekt, welches das Zeichen wahrnimmt und dieses auf individuelle Weise in seinem Gehirn repräsentiert (vgl. Kapitel 3.3). Diese Repräsentation ist sodann verantwortlich für eine etwaige Reaktion des Subjekts im Anschluss an die Zeichenerkennung. In diesem Sinne gibt es keine aktive Handlungsaufforderung im Zeichen an den Interpretierer, die als dritte Dimension herhalten könnte. Die Pragmatik eines Zeichens liegt vielmehr in der Tatsache, dass jeder Interpretierer das Zeichen auf eigene Weise erkennen und ihm nach Massgabe des Aprioriwissens und des situativen Kontextes zum Zeitpunkt der Zeichenwahrnehmung eine eigene Bedeutung beimessen kann. Diesem Aspekt wird aber in der neuen Situation bereits dadurch Rechnung getragen, dass nicht das Zeichen als Teilhabendes an einer Einzelsemiose, sondern vielmehr das Ding auf seine Möglichkeiten hin untersucht wird, in raumzeitlich verschiedenen Semiosen die Rolle eines Zeichens zu spielen.

Eine Schwierigkeit, die die Diskussion um den Pragmatikbegriff durchzieht, liegt folglich in der Feststellung, dass der Prozess der Individualerkennung zwei unterschiedliche Gebilde einschliesst, nämlich ein Ding, das erkannt wird, und dessen Repräsentation im Gehirn des Subjekts als Resultat des Erkenntnisvorgangs. Der Unterschied zwischen diesen beiden Entitäten wird dadurch verstärkt, dass das Ding häufig bloss fragmentarisch wahrgenommen und festgehalten wird. Darüber hinaus werden beim individuellen Perzeptionsvorgang neben den Angaben über das Ding zusätzlich Einzelheiten bezüglich des Ortes, der Zeit und der sozialen Umgebung des Wahrnehmungsvorgangs sowie der psychischen Disposition des erfassenden Subjekts eingespeichert. Das heisst wiederum, dass die Ansammlung dingspezifischer Beziehungen der Repräsentation durch weitere, den situativen Kontext des Erkenntnisprozesses betreffende $r_{\text{syntaktische}}$ und $r_{\text{semantische}}$ Beziehungen ergänzt wird. Dabei kann es naturgemäss zu Fehlinterpretationen des Subjekts kommen, dann nämlich, wenn die Auswahl der erfassten Beziehungen des Dings nicht ausreicht, um die adäquate Repräsentation im Gehirn zu aktivieren, oder aber dann, wenn die kontextspezifischen gegenüber den dingspezifischen Beziehungen der Repräsentation überhandnehmen, so dass das Subjekt das Ding selber nicht mehr als solches erkennen kann.

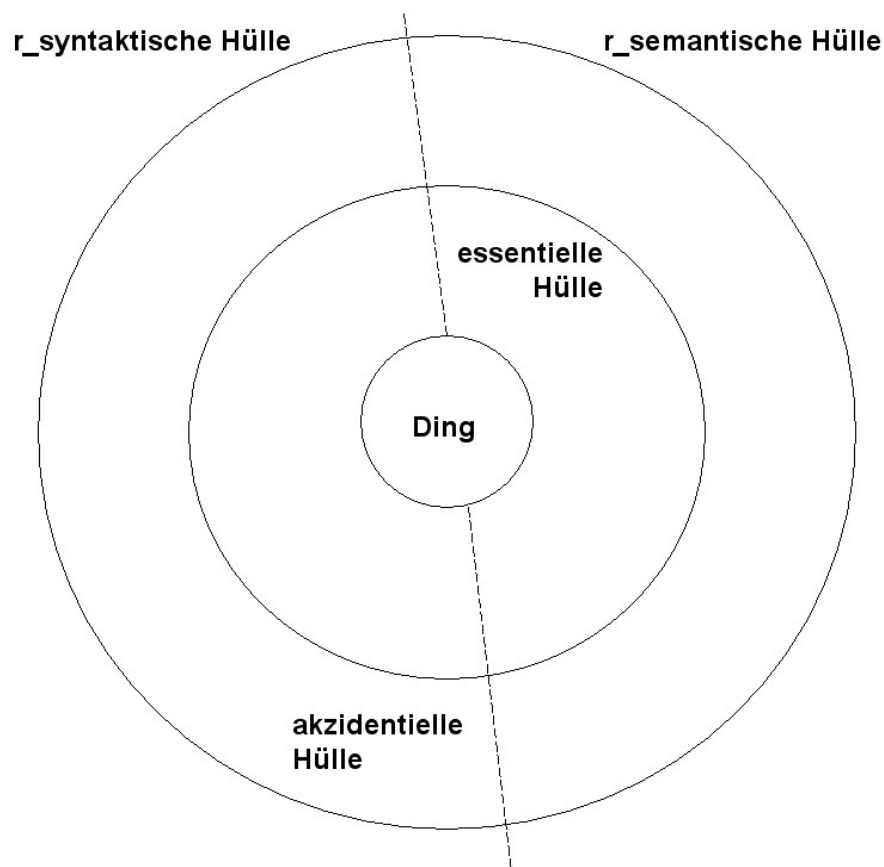
Mit dem Begriff der Pragmatik wird demnach mitunter die Interpretationsvariabilität eines Dings durch das Subjekt ausgedrückt, die von der klaren Erkennung des Dings bis hin zu dessen irrtümlicher Fehlbestimmung reicht. Diese Interpretationsvariabilität ist abhängig von der Anzahl und der Qualität der erfassten Beziehungen bezüglich des Dings sowie von deren Korrelation mit den entsprechenden, im Gehirn des Subjekts repräsentierten Beziehungen. Anstelle der Frage nach pragmatischen Beziehungen stellt sich deshalb eher die Frage nach der Unterteilung der das Ding umfassenden Beziehungshülle in jene Beziehungen, die für die adäquate Erkennung des Dings in einer Situation notwendig sind, und in jene, die in der derselben Situation für die reine Dingerkennung entbehrlich sind. Diese Unterteilung betrifft offensichtlich die Menge der $r_{\text{syntaktischen}}$ Beziehungen, denn ein Ding kann auch dann korrekt erkannt werden, wenn dessen Aufbaustruktur nur fragmentarisch wahrgenommen wurde, wobei die korrekte Klassifikation des wahrgenommenen Strukturfragments abhängig ist vom Aprioriwissen des Subjekts bezüglich des Dings. Aber auch die $r_{\text{semantischen}}$, vom Ding weg gerichteten, Beziehungen lassen sich nach demselben Kriterium unterteilen. Entsprechend der neuen Auslegung der Semantik gehören nämlich neben den Bedeutungsbeziehungen auch jene kontextuellen Beziehungen der $r_{\text{semantischen}}$ Hülle eines Dings an, die dessen Zugehörigkeit zum raumzeitlichen Kontext markieren. Diese zusätzlichen $r_{\text{semantischen}}$ Beziehungen werden stets zur Abgrenzung des Dings gegenüber seiner Umgebung benötigt, wobei analog zur $r_{\text{syntaktischen}}$ Seite im Normalfall bloss eine fragmentarische Erkennung der Beziehungen für eine korrekte Abgrenzung notwendig ist.

Die Folge dieser Überlegungen ist eine zusätzlich Zweiteilung der Beziehungshülle um ein Ding nach dem Kriterium der Notwendigkeit für die situative Dingerkennung in eine essentielle und in eine akzidentielle Hülle. Die essentielle Hülle enthält die in einer spezifischen Situation in Abhängigkeit vom Aprioriwissen des Subjekts für die Dingerkennung notwendigen Beziehungen, während die akzidentielle Hülle alle

übrigen Beziehungen in sich fasst. Diese Unterteilung ist stets abhängig vom Kontext, in dem sich das erkennende Subjekt befindet.

Die eben geschilderten Ideen lassen sich zusammenfassend wie in Figur 4 darstellen. Im Mittelpunkt des Interesses steht das Ding als 'Träger von Information', wie es in Kapitel 3.1.3.1 skizziert wurde, welches von einer Hülle bestehend aus Beziehungen, den mutmasslichen 'Elementen der Information', umgeben ist. Diesem Ding kommt als Wertebereich die Vereinigung der Wertebereiche der Morrisschen Begriffe Zeichen, Objekt und Interpretierer zu. Da speziell der Morrissche Zeichenbegriff sowohl sprachliche als auch aussersprachliche Dinge als mögliche Werte zulässt, kann eine noch zu definierende Informationstheorie, die auf dem Modell von Figur 4 basiert, sowohl auf sprachliche als auch auf aussersprachliche Probleme angewendet werden, denn im besprochenen Modell wird nicht nach der Art des Dings gefragt, sondern bloss nach seiner Möglichkeit, Träger von Information zu sein. Eine Beziehung, die zwei solche Dinge verbindet, kann somit beispielsweise einen Satz als Ursprungs- mit einem Sachverhalt als Zielentität verknüpfen. Auf diese Weise steht die Beziehung für die eigentliche sprachliche Bedeutung, die den Satz mit einem aussersprachlichen Ding referenziert. Desgleichen schliesst das Modell nicht aus, dass eine Beziehung zwei aussersprachliche Dinge verbinden kann. Hierdurch wird das, was Jon Barwise und John Perry in [Barwise/Perry 1987] mit Situationssemantik bezeichnen, ins Modell einbezogen. Schliesslich erlaubt das Konzept von Figur 4 auch wechselseitige Beziehungen zwischen zwei Sprachelementen. Damit werden Wörter, die von Wörtern handeln, also jene Wörter, durch die die sogenannten Reize 'zweiter Intention' ausgelöst werden (siehe hierzu [Quine 1980, S. 96]), auf die gleiche Ebene wie die übrigen möglichen Beziehungen gestellt.

Alle eben besprochenen Arten von Beziehungen lassen sich sodann nach zwei Kriterien je disjunkt unterteilen, nämlich nach der Richtung bezüglich des Dinges in eine $r_{\text{syntaktische}}$ und eine $r_{\text{semantische}}$ Hülle sowie nach dem Kriterium der Erkennungsnotwendigkeit respektive -entbehrlichkeit zum Zeitpunkt der Wahrnehmung in eine essentielle und eine akzidentielle Hülle.



Figur 4: Das Ding und seine Beziehungshülle zum Zeitpunkt der Wahrnehmung.

3.1.3.3 Postskriptum

Die soeben entworfene Struktur des Dinges, das heisst seine Beziehungshülle, bestehend aus gerichteten Beziehungen, sowie die daraus abgeleitete Folgerung, Syntax und Semantik nicht als fundamental verschiedene Sachverhalte zu erachten, stehen, soweit es der Autor beurteilen kann, ohne Beispiel in der Literatur, und es ist das Bestreben dieser Arbeit, diesen Gedanken dereinst verankern zu können. Andererseits kann festgehalten werden, dass zumindest ähnliche Ideen schon in älteren Veröffentlichungen geäußert wurden. Helmut Seiffert meint etwa, dass die Grenze zwischen der syntaktischen und der semantischen Dimension stark verschiebbar sei. Er belegt dies, ohne genaue Unterscheidungskriterien anzugeben, damit, dass diese Grenze davon abhängt, was der Beobachter zur syntaktischen und was er zur semantischen Dimension rechnen wolle (vgl. [Seiffert 1968, S. 91]).

Etwas verbindlicher äussert sich zu diesem Thema Douglas R. Hofstadter in seinem originellen, aber nicht in allen Teilen den strengen wissenschaftlichen Anforderungen genügenden Werk 'Gödel, Escher, Bach, ein Endloses Geflochtenes Band':

“So besteht eine (...) Möglichkeit, den Unterschied zwischen 'syntaktischen' und 'semantischen' Eigenschaften (...) zu charakterisieren, darin, dass die syntaktischen eindeutig in dem in Frage stehenden Objekt vorhanden sind, während semantische Eigenschaften von den Beziehungen zu einer potentiell unendlichen Klasse anderer Objekte abhängen und sich deshalb nicht vollständig lokalisieren lassen. Im Prinzip haben syntaktische Eigenschaften nichts Kryptisches oder Okkultes an sich, während bei semantischen die Verborgenheit zum Wesen gehört. Das ist der Grund dafür, dass ich zwischen 'syntaktisch' und 'semantisch' eine Unterscheidung vornehmen möchte.” [Hofstadter 1989, S. 621]

Hofstadter reduziert also die Verschiedenheit von Syntax und Semantik auf unterschiedliche Merkmale der Beziehungen. Wenn Hofstadter den syntaktischen Beziehungen jeglichen okkulten Gehalt abspricht, so meint er damit vermutlich die Tatsache, dass die syntaktischen Beziehungen eines Dinges (respektive eines Objektes gemäss Hofstadters Nomenklatur) grundsätzlich vorhanden sein müssen, damit es als solches erkannt wird. Dies mag mithin Hofstadter zur Aussage verführt haben, die syntaktischen Beziehungen seien im Ding vorhanden. Das Wahrnehmen des Dinges und damit der syntaktischen Beziehungen durch das Subjekt ist aber eine notwendige Voraussetzung dafür, dass überhaupt nach den vom Ding weg gerichteten Beziehungen gefragt werden kann. Welche dieser semantischen Beziehungen sich dem Subjekt offenbaren, ist eine Frage des Momentes der Erkenntnis, oder, um es in den Worten von Morris auszudrücken, eine Frage der Semiose⁽²³⁾. In keinem Fall besteht aber eine Garantie, dass sich dem Subjekt alle semantischen Beziehungen eines Dinges erhellen. Diese offensichtliche Nichtdeterminiertheit der semantischen Beziehung im Augenblick der Erkenntnis ist wohl der Grund dafür, dass sie Hofstadter mit Okkultheit und Verborgenheit charakterisiert.

Gewiss, die hier vorgeschlagene Neubestimmung von semiotischen Begriffsdefinitionen gründet einstweilen auf sehr wagen Vorstellungen und bedarf der weiteren Analyse in den folgenden Kapiteln. Sie scheint aber doch Hand für eine Alternative zu den bisherigen Definitionen zu bieten, mit denen der Informationsbegriff nicht befriedigend festgelegt werden konnte.

⁽²³⁾ Auch Morris schliesst, nebenbei erwähnt, nicht aus, dass ein Zeichenträger in verschiedenen Situationen auch unterschiedliche semantische Beziehungen haben kann.

3.2 Gedanken zur Semantik

In Kapitel 3.1 wurden einige Mängel im Morrisschen Begriffssystem der Semiotik entdeckt, die einer Integration von wichtigen Aspekten des Informationsbegriffs in die Zeichentheorie im Wege standen. Durch die Neubestimmung gewisser semiotischer Begriffsdefinitionen gelang es einstweilen, ein Umfeld zu schaffen, in dem eine solche Einbettung möglich wurde. Der dabei entworfene Leitgedanke, dass Syntax und Semantik letztlich nur Merkmale der Richtung einer Beziehung zwischen zwei Entitäten darstellten und nicht durch die Art der Zielentität der Beziehung (Objekt oder Zeichen) bestimmt seien, steht indessen in der Literatur isoliert da, und es muss das Ziel dieser Arbeit sein, diesen Gedanken breiter abzustützen. Hierzu sollen die Ideen anderer Wissenschaftler zum Semantikbegriff konsultiert werden wie die des analytischen Philosophen Willard van Orman Quine oder jene der beiden Vertreter eines ökologischen Realismus Jon Barwise und John Perry.

3.2.1 Ideen von Willard van Orman Quine

Willard van Orman Quine ist einer der bedeutendsten Philosophen unseres Jahrhunderts. Als Empirist hat er sich mit ontologischen, epistemologischen und sprachphilosophischen Fragen beschäftigt. Ein Leitfaden, der dabei alle Erörterungen Quines durchzieht, ist das Faktum, dass allein die Analyse der Sprache die Fragen der Philosophie klären kann, denn die Sprache sei nicht bloss das Medium, in dem die Fragen gestellt werden, sondern sie selbst sei vielmehr letztlich der Grund für das Auftreten der Fragen. Eine Theorie sei nämlich nicht viel mehr als eine spezielle, für das logische Schliessen geeignete, aber stets unvollkommene Ausformulierung dessen, was die Menschen über Sinnesreize wahrnehmen können, und die Fragen, die darin aufgeworfen werden, bezögen sich stets auf ebendiese Formulierungen und nicht auf die Reize. Auf diese Weise kann beispielsweise die Ontologie nur relativ zu einer Sprache bestimmt werden, indem etwa analysiert wird, welche Gegenstände eine Sprache als existent akzeptiert. Aber auch die Epistemologie ist für Quine ohne sprachphilosophische Überlegungen nicht denkbar. Das kindliche Lernen, um ein Beispiel zu nennen, vollziehe sich vorwiegend dadurch, dass das Kind lernt, über Gegenstände zu sprechen (vgl. hierzu Kapitel 3.3.1). Die so erlernten Wörter und Sätze seien sodann nicht bloss mit den entsprechenden nichtverbalen Reizen, sondern auch mit anderen Wörtern und Sätzen verknüpft. Deshalb gehe sowohl die Erinnerung als auch die Fähigkeit eines nichtverbalen Reizes, einen bestimmten Satz auszulösen, meist nicht auf vergangene Empfindungen, sondern auf frühere Verknüpfungen und frühere Verknüpfungen von Sätzen mit Sätzen zurück.

Ähnliches lasse sich auch über die wissenschaftliche Erkenntnis sagen. Eine Theorie besteht für Quine nämlich aus Sätzen, die einerseits auf mannigfaltige Weise mit nichtverbalen Reizen verbunden und andererseits netzwerkartig in den Gesamtumfang an Sätzen einer Sprachgemeinschaft eingebettet sind. Die derart festgelegte Theorie ordnet Quine demnach als integralen Bestandteil einer Sprache und nicht als etwas Aussersprachliches. Theorie und Sprache sind somit gleichsam in untrennbarer Weise miteinander verknüpft. Trotz der grundsätzlichen qualitativen Unterschiede etwa zwischen einer Kindesäußerung wie 'Papa gut geschlafen?' und einer theoretisch-naturwissenschaftlichen Aussage wie ' $e = m \cdot c^2$ ' bildet die Sprache für Quine insgesamt eine echte Ganzheit und die einzelnen Sprachkomponenten können meistens nur im Kontext bezüglich dieser Ganzheit oder mindestens Teilen davon verstanden werden.

Selbstverständlich gelten diese Aussagen auch für Wissenschaftszweige, die Quine den Sprachwissenschaften zuordnet wie etwa jene Theorien, die sich mit semantischen Problemen beschäftigen⁽²⁴⁾. Wenn zum Beispiel die Frage nach der Bedeutung eines Satzes untersucht werde, so könne diese, gleichgültig ob die Analyse an einer wissenschaftlich-theoretischen oder an einer alltäglichen Äußerung geschehe, nicht isoliert auf eine objektiv gültige Bedeutung hin untersucht, sondern nur im Gesamtzusammenhang einer Sprache, das heisst in der gesellschaftlich eingepprägten Menge von Dispositionen innerhalb einer

⁽²⁴⁾ Nach Quine gibt es keine explizite Semantik, wohl aber Wissenschaften, die sich mit semantischen Problemen beschäftigen.

Gemeinschaft (vgl. [Quine 1980, S. 90]) als sinnstiftend verstanden werden. Henri Lauener bezeichnet diese Ansicht in [Lauener 1982, S. 27] mit 'semantischer Holismus'.

Quine lehnt deshalb die weitverbreitete Idee ab, die 'Bedeutung' der sprachlichen Elemente habe eine psychische Existenz. Entsprechend seiner holistischen Einstellung ist Quine nämlich der Meinung, dass die Bedeutung, in gleicher Weise wie etwa Wissen und Geist, Teil derselben Welt sei, mit der sie sich befasst. Folglich solle sie mit derselben empirischen Gesinnung wie die Naturwissenschaften untersucht werden. In diesem Sinne sei die Bedeutung primär ein Merkmal des Verhaltens, das stets als Reaktion auf Reize zu verstehen sei, die durch die Sinne wahrgenommen werden. Diese Verhaltensbezogenheit der Bedeutung belegt Quine anhand der sogenannten Urübersetzung⁽²⁵⁾: Wenn etwa ein Eingeborener immer bei der Anwesenheit eines Kaninchens oder einer echt wirkenden Nachbildung dem Ausdruck 'Gavagai' zustimme, könne dieser Ausdruck mit gutem Grund vorsichtigerweise mit 'Dort ist ein Kaninchen' übersetzt werden. In gleicher Weise und mit derselben Begründung könne man aber auch die Übersetzungen 'Da haben wir ein Kaninchen' oder 'Schau, ein Kaninchen!' akzeptieren.

Dieses Beispiel führt auf zwei Arten etwas zutage, was Quine die 'Unbestimmtheit der Bedeutung' nennt: Einmal kann die Bedeutung von 'Gavagai' nicht mit seiner referenziellen Beziehung zu Kaninchen gleichgesetzt werden, denn sonst würden die Eingeborenen diesem Ausdruck beim Vorzeigen einer blossen Kaninchenattrappe nicht zustimmen. Zum anderen ist der mit 'Gavagai' beschriebene Umfang des situativen Kontextes unbestimmt, was dazu führt, dass die Übersetzung des Ausdrucks ins Deutsche ohne erweiterte Kenntnis der Eingeborenenensprache nicht befriedigend gelingen kann. Das einzige Gesicherte an dieser Urübersetzung ist die Tatsache, dass die Eingeborenen stets bei einer gewissen Art von nichtverbalen Reizen, die über die Sinne wahrgenommen werden, dem Ausdruck 'Gavagai' zustimmen. Diese Erkenntnis führt Quine dazu, das eben vorgestellte Phänomen in [Quine 1980, S. 66 ff.] mit 'Reizbedeutung' zu benennen und wie folgt zu bestimmen:

“Ein Reiz σ gehört für einen bestimmten Sprecher genau dann zur (affirmativen) Reizbedeutung eines Satzes S, wenn es einen Reiz σ' gibt, so dass der Sprecher, wenn man ihn σ' aussetzen würde, dann S fragen, dann σ aussetzen würde, beim ersten Mal ablehnen und beim zweiten Mal zustimmen würde. Die negative Reizbedeutung können wir ähnlich definieren, indem wir 'Zustimmung' durch 'Ablehnung' ersetzen und Reizbedeutung dann als geordnetes Paar dieser beiden definieren.” [Quine 1980, S. 69 f.]

Die Reizbedeutung wird also verstanden als Reizbedeutung eines Satzes (S) für einen Sprecher (a) zu einem bestimmten Zeitpunkt (t). Des weiteren ist nach Quine auch der sogenannte Reizmodul, das heisst die für die fragliche Reizung anerkannte Höchstdauer (modulo n-Sekunden) für die Bestimmung der Reizbedeutung relevant. Der Reizmodul ist deshalb von besonderer Wichtigkeit, weil die Reizbedeutung durch einige Reize, die länger anhalten als die durch den Reizmodul vorgegebene Zeitspanne, verändert werden könnte.

Ein Problem, das den Reizbedeutungen anhaftet, besteht darin, dass nicht alle Reizbedeutungen gleich empfänglich für die Einflüsse der sogenannten 'aufdringlichen Information'⁽²⁶⁾ seien. In diesem Sinne lasse das Wort 'Kaninchen' ein viel breiteres Interpretationsspektrum zu als etwa das Wort 'Rot'. Ein Grund dafür mag an der Relativität der Reizbedeutung zum Reizmodul liegen, denn 'Kaninchen' stelle einen Ausdruck für ein flüchtiges Sinnesdatum dar, während 'Rot' eher als Ausdruck für ein dauerhaftes objektives Merkmal eines physikalischen Gegenstandes zu verstehen sei. Indes ist auch diese 'Beobachtungsnahe'

⁽²⁵⁾ Unter Urübersetzung ('radical translation') versteht Quine die Übersetzung einer völlig fremden Sprache allein aufgrund von Verhaltensbeobachtungen, ohne Hilfe vorliegender Wörterbücher. Mit dem Ausspruch 'radical translation begins at home' markiert Quine indessen, dass der Spracherwerb bei Kindern nach demselben Muster abläuft (vgl. [Quine 1975 b, S. 66 f.]).

⁽²⁶⁾ Quine spricht dann von 'aufdringlicher Information', wenn ein Reiz mit dem ursprünglichen, die fragliche Reizbedeutung erzeugenden Reiz nur entfernt verwandt ist und trotzdem ebendiese Reizbedeutung auszulösen vermag.

⁽²⁷⁾ der Reizbedeutung von 'Rot' aus verschiedenen Gründen relativ. Einmal kann sie durch Zusatzinformationen über die Beleuchtungsverhältnisse von einer Gelegenheit zur anderen variieren. Des weiteren ist sie besonders in den Grenzbereichen zu anderen Farben einer sogenannten intersubjektiven Variabilität ausgesetzt. Dies liegt daran, dass die Klassifizierung des Farbspektrums nach den durch eine Sprachgemeinschaft festgelegten Farben eine Frage der individuellen Sprachentwicklung ist.

Die Reizbedeutung ist um so grösserer intersubjektiver Variabilität ausgesetzt, je mehr ein Satz durch Verbindungen mit anderen Sätzen anstelle von Referenzen mit Gegenständen der Aussenwelt eingepägt wird. Quines Musterbeispiel hierzu ist der Satz 'Junggeselle'. Zu diesem Satz gibt es keinen Gegenstand der Wirklichkeit, der permanent zu dessen Reizbedeutung erhalten kann. Vielmehr ist 'Junggeselle' ein im Normalfall temporäres Merkmal einer männlichen Person, das jederzeit wechseln kann. Die individuelle Reizbedeutung von 'Junggeselle' wird demnach durch die in der Vergangenheit des Sprechers eingepägten Beschreibungen des Ausdrucks, wie etwa 'unverheirateter Mann', bewerkstelligt.

Am meisten Mühe, eine eindeutige Reizbedeutung auszumachen, bekundet Quine bei den sogenannten Reizen 'zweiter Intention', genau gesagt bei Wörtern, die von Wörtern handeln. Hier ist die Variabilität der Reizbedeutung nicht mehr bloss intersubjektiver, sondern auch intrasubjektiver Natur, denn die Suche nach Reizen zweiter Intention, die eine Versuchsperson zur Zustimmung auf die Fragen 'Junggeselle?' oder 'unverheirateter Mann?' provozieren, kann auf verschiedene Arten erfolgreich enden. Zum Beispiel könnte ein Reiz, der darstellt, wie man 'Junggeselle' buchstabiert, oder ein Reiz, der die Wörter 'reimt sich auf 'Jungfrauenquelle' präsentiert, eine affirmative Beantwortung der oben gestellten Fragen auslösen.

Ambiguitäten der genannten Art sind für Quine besonders dann störend, wenn die Aussagen einer Wissenschaft davon befallen sind. Die wissenschaftliche Arbeitsweise bezweckt nämlich per definitionem die 'Erarbeitung eines Systems von methodisch gesicherten, objektiven Sätzen über einen Gegenstandsbereich' und verlangt deshalb nach Sätzen mit eindeutiger Reizbedeutung. Quine fordert aufgrund dessen verhaltensbezogene Kriterien zur Beseitigung solcher Mehrdeutigkeiten, die indes nicht einfach zu formulieren sind. Eine Ursache des Dilemmas liege nämlich mitunter an dem von Quine als dubios gebrandmarkten Ähnlichkeitsbegriff. Dieser Begriff sei einerseits grundlegend für Lernen, Wissen und Denken, denn allein unser Ähnlichkeitsgefühl ermögliche es uns, Dinge nach Arten zu ordnen, so dass ebendiese Dinge alsdann als Reizbedeutungen der entsprechenden Sätze funktionieren könnten. Zudem stütze sich jede vernünftige Erwartung auf die Ähnlichkeit der Umstände und auf unsere Neigung zu erwarten, dass ähnliche Umstände ähnliche Wirkungen hätten. Andererseits empfindet Quine den Ähnlichkeitsbegriff als logisch abstossend, weil seine Anwendung in letzter Konsequenz zu Paradoxa führt, wie er in [Quine 1975 c, S. 157 ff.] belegt. Jeder Versuch, den Ähnlichkeitsbegriff mit den Begriffen der Logik auf sinnvolle Weise in Verbindung zu bringen, müsse demnach misslingen. Selbst die Vorschläge, Dinge dann ähnlich zu nennen, wenn sie alle oder die meisten 'Eigenschaften' gemeinsam haben, oder die Ähnlichkeit schlicht als eine Ja-oder-nein-Angelegenheit ohne Abstufungen zu betrachten, führen nicht zu Quines erklärtem Ziel, die Ähnlichkeit für Mathematik und Logik verwendbar zu machen (vgl. [Quine 1975 c, S. 161 ff.]). Im ersten Fall müsste man die wenig verheissungsvolle Aufgabe in Angriff nehmen, zu klären, was als 'Eigenschaft' gelten solle, und im zweiten Falle verlöre man die Möglichkeit, eine Art als in einer grösseren Art enthalten zu erkennen. Auch der Ansatz, den Ähnlichkeitsbegriff aus verwandten Begriffen wie eben jenem der Art herzuleiten, müsse scheitern, weil diese Begriffe selber in vergleichbarer Weise dubios seien.

Der Mensch in seiner Rolle als Wissenschaftler gerate dadurch in einen permanenten Zwiespalt, denn als Forscher müsse er einerseits darum bemüht sein, Mehrdeutigkeiten und Unklarheiten auszumerzen, und andererseits sei er auf den ihm angeborenen Massstab der Ähnlichkeit angewiesen, um zu den notwendigen wissenschaftlichen Erkenntnissen zu gelangen. Es sei deshalb ein besonders deutliches Zeichen der Reife eines Wissenschaftszweiges, wenn er keinen irreduziblen Begriff der Ähnlichkeit mehr gebrauche.

Dieser Grundhaltung folgend, fordert Quine bezüglich der Sprache die Schaffung von Kriterien, die eine entsprechende wissenschaftliche Reifung ermöglichen. Einen ersten möglichen Ansatz, dies zu erreichen,

⁽²⁷⁾ Eine Reizbedeutung heisst dann beobachtungsnah, wenn sie sich unter dem Einfluss von Zusatzinformationen kaum verändert.

sieht er in der Klassifikation der Sätze einer Sprache nach ihrer Geltungsdauer in 'Gelegenheitssätze' ('occasion sentences') und in 'bleibende Sätze' ('standing sentences'). Demgemäss sei ein Gelegenheitssatz, wie etwa der Satz 'Sein Gesicht ist schmutzig', dadurch gekennzeichnet, dass er Zustimmung oder Ablehnung allenfalls direkt nach einer geeigneten auslösenden Reizung der Rezeptoren herausfordert, während der bleibende Satz, wie zum Beispiel den Tag für Tag zu gegebener Zeit geäusserten Satz 'Die Zeitung ist da', auch später noch bejaht oder verneint werden kann⁽²⁸⁾.

Unter den Gelegenheitssätzen hebt Quine die Beobachtungssätze hervor, die sich dadurch auszeichnen, dass ihre Reizbedeutung nicht der den Gelegenheitssätzen üblichen Variabilität unterliegt. Die Beobachtungssätze sind unempfindlich gegenüber aufdringlicher Zusatzinformation und finden stets ihren Beleg in Form eines beobachtbaren Gegenstandes in der Aussenwelt. Nach Henri Lauener sind deshalb die Beobachtungssätze dadurch charakterisiert, dass sie als einzige unter den Gelegenheitssätzen isoliert eine 'Bedeutung', das heisst eine eindeutige und invariante Reizbedeutung, haben (vgl. [Lauener 1982, S. 67]).

Neben den Gelegenheitssätzen geben auch die bleibenden Sätze Anlass zu Bedenken bezüglich der wissenschaftlichen Anwendbarkeit. Zwar zeichnen sich die bleibenden Sätze dadurch aus, dass deren Reizbedeutung über eine längere Zeitdauer gleich bleibt, doch auch diese Art von Sätzen bietet keine Garantie der Invarianz von Reizbedeutungen an. Dem weiter oben zitierten Satz 'Die Zeitung ist da' kann nämlich nur dann zugestimmt werden, wenn die Zeitung tatsächlich 'da' ist, wobei eine Zeitung dann als 'da'-seiend definiert sein soll, wenn sie der Postbote dem nachmaligen Zeitungsbesitzer am besagten Tag bereits vor die Türe gelegt hat. Die Zustimmung zu diesem Satz lässt sich zwar jeden Tag wiederholen, sie ist indes nicht unabhängig vom Zeitpunkt des Reizes, denn vor dem täglichen Erscheinen des Postboten muss derselbe Satz per definitionem abgelehnt werden. Die Konsequenz davon ist, dass der Satz 'Die Zeitung ist da' bei zu starker Ausdehnung des Reizmoduls zu einem Gelegenheitssatz werden kann, der einzig nach der dem Äusserungsereignis vorangehenden Reizung gutgeheissen oder abgelehnt werden kann.

Diese Zeitrelativität trifft allerdings nicht auf alle bleibenden Sätze zu. Sätze wie 'Kupferoxyd ist grün' oder 'Am 6. August 1993 um 15 Uhr schien in Bern die Sonne' haben eine konstante Reizbedeutung auch bei erheblicher Ausweitung des Reizmoduls. Quine nennt diese Art von Sätzen die 'zeitlosen Sätze' ('eternal sentences'), was zuweilen auch mit 'ewige Sätze' übersetzt wird. Ein wichtiges Merkmal der zeitlosen Sätze ist die von Quine besonders hervorgehobene Tatsache, dass sie einen konstanten Wahrheitswert besitzen, das heisst einen Wahrheitswert, der zu jeder Zeit und von Sprecher zu Sprecher derselbe bleibt. Quine benutzt die zeitlosen Sätze deshalb auch als die eigentlichen Wahrheitsträger. Aus diesem Grunde sei der Einsatz von zeitlosen Sätzen vornehmlich in jenen Fällen zweckmässig, wo Aussagen auf festen Wahrheitswerten beruhen sollen.

Die Verwendung der Alltagssprache lässt es zu, dass ein und derselbe Sachverhalt durch mehrere adäquate zeitlose Sätze beschrieben werden kann. Beispielsweise unterscheiden sich die beiden Sätze 'Am 6. August 1993 um 15 Uhr schien in Bern die Sonne' und 'In Bern schien am 6. August 1993 um 15 Uhr die Sonne' nur durch die Wortstellung; die Reizbedeutung und der Wahrheitswert sind indes in beiden Fällen identisch. Um auch bezüglich der Formulierung zeitloser Sätze Eindeutigkeit zu erlangen, schlägt Quine vor, diese in die sogenannte kanonische Notation zu paraphrasieren⁽²⁹⁾. Damit gewinnt Quine den Vorteil, dass die Struktur eines zeitlosen Satzes deutlicher hervortritt, weil er nicht mehr mit den Schnörkeln des alltäglichen Sprachgebrauchs belastet ist. Überdies verhindert der Einsatz der kanonischen Notation das Auftreten von Wahrheitswertlücken, das heisst von Fällen, in denen sich die Frage nach dem Wahrheitswert nicht stellt. Weil nämlich die kanonische Notation eine Sprache basierend auf der Prädikatenlogik erster Stufe mit Identität ist, entstehen deren Aussagen durch die Substitution der gebundenen Variablen durch Elemente von Individuenmengen. Damit werden Sätze, die, wie etwa

⁽²⁸⁾ Es gilt festzuhalten, dass der Gültigkeitsbereich beider Begriffe relativ zum Reizmodul, das heisst zur zwischen Reizung und Bejahung oder Verneinung verstreichenden Zeitdauer, ist.

⁽²⁹⁾ Die kanonische Notation ist eine künstliche, streng reglementierte Sprache ohne Namen basierend auf der Prädikatenlogik erster Stufe mit Identität. Eine ausführliche Einführung in die kanonische Notation ist in [Quine 1980, S. 275 ff.] zu finden.

'Pegasus fliegt', für Wahrheitswertlücken stehen, als falsch gekennzeichnet, weil sich Worte wie 'Pegasus', die neu mit Prädikaten umschrieben werden, auf keinen reellen Gegenstand beziehen und damit auch nicht Elemente einer Individuenmenge sein können.

Für die Formulierung naturwissenschaftlicher Theorien empfiehlt deshalb Quine die Verwendung von zeitlosen, in die kanonische Form paraphrasierten Sätzen. Auf diese Weise kann bei der Fassung einer Theorie das Auftreten von sprachbedingten Ambiguitäten und vermeidbaren Komplikationen umgangen werden, ohne dass die Theorie an Aussagekraft verlieren würde. Quine ist nämlich der Meinung, dass sich alle Merkmale der Realität in der kanonischen Notation niederlegen lassen, sofern sie sich überhaupt festhalten lassen. Damit besitzt Quine ein Instrumentarium, mit dem er die abstrakten Grundlagen von Theorien in Sätzen mit konstantem Wahrheitswert formulieren kann.

Ein weiteres Problem, dem sich die empirischen Theorien stellen müssen, ist die Frage nach ihrer Verankerung in der Realität. Es gehört nämlich zu den Hauptforderungen der naturwissenschaftlichen Theorien, dass ihre Aussagen mit den vergangenen, den gegenwärtigen und womöglich mit den zukünftigen Nerveneindrücken der Menschheit in Übereinstimmung gebracht werden. Dies ist indessen kein triviales Unterfangen, denn nach Quine gibt es keine offenkundigen Entsprechungen zwischen den nichtverbalen Reizen und den natürlichen Sprachen. In dieser Situation bieten sich die Beobachtungssätze an, die sich, wie weiter oben erwähnt wurde, durch ihre eindeutige Reizbedeutung unter den Gelegenheitssätzen auszeichnen. In diesem Sinne bilden die Beobachtungssätze die Anker der empirischen Theorien in der Realität, denn allein sie sind in der Lage, die Beziehung zwischen einer wissenschaftlichen Theorie und den sie stützenden Beobachtungen herzustellen.

Quine schafft mit seiner Herleitung des Begriffs der Reizbedeutung ein semantisches Konzept, das trotz seiner Beschränkung auf den sprachlichen Fall für die Erarbeitung eines Informationsbegriffs besser geeignet scheint als die semantische Beziehung im Rahmen von Morris' Semiose-Konzept. Zwar ist Quine ebenso wie Morris ein Anhänger der behavioristischen Vorgehensweise, und die Quinesche Reizbedeutung des einzelnen Äusserungsereignisses eines Satzes kann als semantische Beziehung einer geeignet gewählten Morrisschen Semiose konstruiert werden. Entscheidend für die Überlegenheit von Quines Konzept ist vielmehr sein ganzheitlicher Ansatz: Während Morris seine Aussagen anhand der Analyse einer hypothetischen Einzelsemiose macht, kann Quine seine Untersuchungen nur im Kontext mit einer umfassenden Theorie anstellen. Die Analyse der Reizbedeutung richtet sich somit nicht bloss auf ein flüchtiges Ereignis, wie dies eine Semiose darstellt, sondern auf einen Satz, dessen Reizbedeutung hin auf ihre Beständigkeit respektive Variabilität über die Zeit hinweg untersucht wird. Bezüglich eines Reizes stellt sich somit nicht bloss die semiotische Frage nach seinem blossen Vorhandensein, sondern nach weiteren Merkmalen wie etwa dem Reizmodul, dessen Wahl unter Umständen Einfluss auf die Reizbedeutung haben kann.

Das Resultat dieser Erkenntnis, die Tatsache also, dass die meisten Sätze keine eindeutige Reizbedeutung haben, verträgt sich gut mit den Feststellungen aus Kapitel 3.1, die in Figur 4 dargestellt sind. Pro memoria kann das dort eingeführte 'Ding' stets über mehrere r _semantische Beziehungen andere Dinge referenzieren. Wenn die Sätze einer Sprache als Ding⁽³⁰⁾ und die Reizbedeutungen als r _semantische Beziehungen aufgefasst werden, finden diese sprachphilosophischen Ergebnisse Quines auf triviale Weise ihre Entsprechung in jenem Modell. Schon eher problematisch hinsichtlich einer umfassenden Informationstheorie ist die Forderung Quines, die mehrdeutigen Sätze als unerforschlich zurückzuweisen und deshalb aus der wissenschaftlichen Diskussion zu verbannen. Gewiss ist es erstrebenswert, dass zur Formulierung von empirisch-wissenschaftlichen Theorien nur Sätze verwendet werden, die einen festen Wahrheitswert besitzen. Dies wird auch für die nachmalige Fassung einer Informationstheorie mehrheitlich zutreffen. Als Gegenstand einer solchen Theorie müssen jedoch mitunter Sätze mit mehrdeutiger Reizbedeutung akzeptiert werden können, weil die Informationstheorie nach dem authentischen Gehalt an Information eines geäusserten Satzes fragt.

⁽³⁰⁾ Da der Wertebereich des 'Dings' aus Figur 4 aus der Vereinigung der Wertebereiche der semiotischen Begriffe 'Zeichen', 'Objekt' und 'Interpretierer' besteht, kann dieser Setzung durchaus zugestimmt werden.

Gegen den Vorschlag, die mehrdeutigen Sätze zum Zwecke der theoretischen Analyse in die kanonische Notation zu paraphrasieren, liefert Quine gleich selber das beste Argument: Weil das Bilden von Synonymen, das heisst von Ausdrücken mit identischer Reizbedeutung wie der Originalausdruck, gemäss Quine nicht möglich ist, kann ein paraphrasiertes Pendant eines Ausdrucks auf keinen Fall einen mit jenem des Ausdrucks selber identischen Forschungsgegenstand abgeben. Eine Informationstheorie indessen, die diesen Namen verdient, muss stets versucht sein, alle möglichen Sätze einer Sprache, deren Äusserungsereignisse, nebenbei bemerkt, auch durch die Sinne wahrgenommen werden können, in unverfälschter Form auf ihren Informationsgehalt hin zu untersuchen (vgl. hierzu Kapitel 4).

Die Schwierigkeit, die sich dadurch ergibt, liegt auf der Hand: Eine derart konzipierte Informationstheorie kann nicht in allen Teilen in der Prädikatenlogik erster Ordnung mit Identität formuliert werden. Damit wird indessen eine Grundvoraussetzung Quines an eine empirische Theorie verletzt. Nun ist aber spätestens seit der Determinierung der Thermodynamik mit statistischen Methoden bekannt und auch allenthalben akzeptiert, dass sich neben der Prädikatenlogik auch andere mathematische Fachrichtungen für die Erschliessung von naturwissenschaftlichen und damit empirischen Theorien anbieten. Die enorme Vielzahl an Partikeln, die in dieser physikalischen Disziplin gewöhnlich den Gegenstand der Untersuchungen bilden, lässt nämlich eine exakte mathematische Behandlung unter Berücksichtigung jeder Einzelheit nicht mehr zu, sondern erfordert vom Wissenschaftler eine Beschränkung auf zusammengefasste Allgemeinmerkmale, die jedoch der Statistik gehorchen. Ein solches Vorgehen ist indessen vertretbar, weil sich so oder so nur wenige Eigenschaften von aussen beobachten und beeinflussen lassen, wie beispielsweise der Druck und nicht die ihn verursachenden Stösse der einzelnen Gasteilchen. Ein weiteres Beispiel hierzu liefert der Versuch, den Nachfolgezustand eines Gases, das sich zu einem bestimmten Zeitpunkt in einem bestimmten Behälter mit einem bestimmten Volumen in einem bestimmten Zustand befindet, zu ermitteln. Auch hier handelt es sich keineswegs um eine determinierte Grösse, sondern stets um eine Auswahl aus möglichen Alternativen, wobei erst nach Eintreten des vormaligen Nachfolgezustandes dessen tatsächliche Disposition ermittelt werden kann. Eine entsprechende Vorherbestimmung wird sodann nicht durch exakte Berechnung, sondern einzig durch Annäherung mit statistisch bestimmten Wahrscheinlichkeiten möglich sein.

Das letztgenannte Beispiel zeigt augenscheinliche Parallelen zur Diskussion um die Reizbedeutung eines Satzes, die es zu ergründen gilt. Falls es sich beim untersuchten Satz nicht um einen Beobachtungssatz oder einen zeitlosen Satz handelt, kann dessen Reizbedeutung je nach Zeitpunkt der Analyse verschieden sein. Wenn eine Reizbedeutung wiederum als eine *r*-semantische Beziehung verstanden wird, die lediglich zwei Dinge miteinander verknüpft (hier der geäusserte Satz und dort der durch die Reizbedeutung referenzierte Gegenstand), und des weiteren die Tatsache berücksichtigt wird, dass das Ereignis der Äusserung des Satzes immer der dadurch beim Interpretierer instanziierten Reizbedeutung vorausgeht, kann die wahrgenommene Äusserung des Satzes als Pendant zum Gaszustand und entsprechend der referenzierte Gegenstand als Pendant zum Nachfolgezustand des Gases betrachtet werden. Die Reizbedeutung schliesslich wäre in diesem Modell mit der Folgebeziehung zwischen Gaszustand und Nachfolgezustand gleichzusetzen. Damit wird nicht nur einer Einbettung der sprachlichen Bedeutungstheorie in die Shannonsche mathematischen Kommunikationstheorie der Weg geebnet, sondern mehr als das: Es scheint sich erstmals eine Möglichkeit anzubahnen, sowohl ein funktionell-kybernetisches Problem (Übergang eines Gaszustandes in seinen Nachfolgezustand) als auch ein strukturell-attributives Problem (Reizbedeutung eines Satzes) auf dieselbe Weise beschreiben zu können. Diesen Gedanken folgend, müsste es das Bestreben des Informationstheoretikers sein, die verschiedenen Reizbedeutungen eines Satzes in Abhängigkeit der diversen möglichen Arten von Äusserungsereignissen zu erschliessen und nach Möglichkeit mit Auftretenswahrscheinlichkeiten zu bestücken, was gewiss kein einfaches, aber auch kein unmögliches Unterfangen darstellt.

3.2.2 Situationssemantik nach Jon Barwise und John Perry

Quines Lehrgebäude der analytischen Philosophie stützt sich mitunter auf einen Pfeiler, nämlich auf die Einsicht der Untrennbarkeit einer Theorie von der Sprache, in der sie festgelegt wurde. Folglich müssen seine Betrachtungen zu semantischen Problemen mehrheitlich von der Erforschung der Sprache genährt werden. Das in der Einleitung zitierte Beispiel des auf einen Mann zufallenden Ziegels beschreibt indessen einen möglichen Fall einer aussersprachlichen 'Bedeutung', denn die zufällige Entdeckung des Ziegels und

damit der potentiellen Gefahr als Reizbedeutung kann unmöglich auf früheren Verbegrifflichungen von ähnlichen Konstellationen, sondern allein auf der durch die Sinne wahrgenommenen Situation beruhen. Daher stellt sich die berechnigte Frage, ob eine derartige alltägliche Situation tatsächlich etwas 'bedeuten' kann und wie eine solche 'Bedeutung' allenfalls charakterisiert werden könnte. Fragen dieser Art und mögliche Lösungsansätze haben Jon Barwise und John Perry in [Barwise/Perry 1987] ausführlich diskutiert.

Ähnlich wie Quine verstehen Barwise und Perry die Semantik nicht als eine rein mentale Angelegenheit. Während Quine aber die Semantik allein im beobachtbaren Verhalten des Menschen festgelegt weiss, ist sie für Barwise und Perry in der Interaktion der Lebewesen, seien es Menschen oder Tiere, mit ihrer Umwelt bestimmt. In dieser Betrachtungsweise, welche unter dem Namen ökologischer Realismus bekannt ist, funktionieren demnach nicht nur die Elemente der Sprache als Bedeutungsträger, sondern ähnlich wie in der Semiotik allgemeine Dinge der Wirklichkeit, welche Situationen genannt werden. Mit Bedeutung ist deshalb nicht nur die Bedeutung eines Wortes oder eines Satzes gemeint, sondern ebenfalls die aussersprachliche Bedeutung einer Situation, wie beispielsweise jene hochgezogener Augenbrauen bei einem geliebten Menschen.

Situationen sind für Barwise und Perry 'Individuen, die Eigenschaften haben und zu verschiedenen Raum-Zeit-Punkten miteinander in Beziehung treten' [Barwise/Perry 1987, S. 9]. Situationen können aus anderen Situationen bestehen, in anderen Situationen enthalten sein oder sich wechselseitig überlagern. Dabei ist jede Situation stets einmalig und einzig. Die eben bestimmten vier Hauptsteine einer Theorie der Situationen, nämlich Individuen, Eigenschaften, Relationen und Raum-Zeit-Gebiete, denke man sich als Invarianten respektive Gleichförmigkeiten über reale Situationen hinweg. Unter Individuen werden reale Dinge verstanden, die ihrerseits wieder Teile haben können, welche als Individuen gelten. Die Raum-Zeit-Gebiete sind ausgedehnte, aber zusammenhängende Regionen im 4-dimensionalen Raum-Zeit-Kontinuum, die untereinander in Relation stehen können. Eine n -stellige Relation ($n \geq 0$) schliesslich setzt n verschiedene Objekte (z. B. Individuen, Raum-Zeit-Gebiete, Relationen, aber auch Situationen u. a. m.) wechselseitig in Beziehung, wobei die einstellige Relation als Eigenschaft und die nullstellige Relation als situativer Zustand gilt. Situationen stehen demgemäss für reale Konstellationen, Ereignisse, aber auch für kognitive Zustände und vieles andere mehr.

Die Situationen lassen sich zu Situationstypen zusammenfassen. Diese sind partielle Konstruktionen und enthalten keine vollständigen Angaben über die Objekte, die als Exemplare eines Situationstypen auftreten. Der Hauptzweck der Situationstypen ist daher die Charakterisierung von Situationen, losgelöst von 'wo' und 'wann', also unabhängig von raumzeitlichen Aspekten. Eine spezielle Art von Situationstypen sind die Ereignisverläufe, welche mögliche Abfolgen von Ereignissen beschreiben. Sie werden als partielle Funktionen von Raum-Zeit-Gebieten in Situationstypen konstruiert. Alle eben genannten Entitäten sind für Barwise und Perry abstrakte mengentheoretische Objekte, gewonnen durch Abstraktion aus realen Situationen und immer aufgebaut aus Individuen, Eigenschaften, Relationen und Raum-Zeit-Gebieten. Barwise und Perry nennen sie deshalb auch abstrakte Situationen, weil diese nicht in der Natur vorkommen, im Gegensatz zu den realen Situationen, welche Ausschnitte der Wirklichkeit bilden. Die abstrakten Situationen können demzufolge als Mengen betrachtet werden, deren Aufgabe es ist, die realen Situationen korrekt zu klassifizieren.

Eine spezielle Rolle innerhalb der Situationstypen spielen die sogenannten Ereignistypen, die nicht zu verwechseln sind mit den oben vorgestellten Ereignisverläufen. Im Gegensatz zu den übrigen Situationstypen sind die Ereignistypen keine Zusammenfassung von Ereignissen gleichen Typs, sondern jedes Ereignis e ist selber schon ein Ereignistyp, nämlich der Typ der Ereignisse, wovon e ein Teil ist. Weil sich zwei verschiedene Ereignisse nicht gegenseitig als Teil enthalten können, ist die Möglichkeit ausgeschlossen, dass beide vom selben Typ sind. Ereignistypen, die ähnliche Abläufe beschreiben, lassen sich sodann gewissermassen zu Typen von Ereignistypen, den sogenannten Schemata, zusammenfassen. Als mögliche Anwendungen von Ereignistypen nennen Barwise und Perry Objekttypen, in welchen das Verfahren angegeben ist, das für die Klassifizierung eines Objekts notwendig ist. Darunter fallen komplexe Eigenschaften, komplexe Relationen, Rollen, Kontexte beziehungsweise ein Grossteil der als abstrakt eingestuften Situationen (vgl. [Barwise/Perry 1987, S. 89 ff.]).

Ein überaus interessanter Aspekt in der Theorie von Barwise und Perry ist die Tatsache, dass die Worte als Elemente einer Sprache selber Objekte der oben gezeichneten Art darstellen. Die Sätze und Aussagen sind als abstrakte Situationen zu betrachten, unter anderem weil sie sich als Gleichförmigkeiten über Äusserungen hinweg erweisen. Darüber hinaus werden die sprachlichen Objekte durch spezifische Merkmale gekennzeichnet, die Barwise und Perry semantische Universalien nennen und die folgendermassen definiert sind:

- 1) Die externe Signifikanz der Sprache, welche die Verknüpfung der Sprache mit der beschriebenen Welt betont.
- 2) Die Produktivität der Sprache, das heisst die beobachtete Fähigkeit des Menschen, Ausdrücke zu gebrauchen und zu verstehen, die niemals zuvor geäussert wurden.
- 3) Die Effizienz der Sprache, worunter ihre unbegrenzte Wiederverwendbarkeit verstanden wird.
- 4) Die perspektivische Relativität der Sprache oder die Tatsache, dass die Sprache stets relativ zu unserem zufälligen kontextuellen Milieu zu sehen ist.
- 5) Die Mehrdeutigkeit der Sprache.
- 6) Die mentale Signifikanz der Sprache, das heisst deren Verknüpfung mit dem inneren Zustand des Sprechers.

In dieser Zusammenstellung gebührt Punkt 3, der Effizienz der Sprache, besondere Aufmerksamkeit. Die von Quine stark geförderte Konzentration der Semantik auf die formalen Sprachen und die zeitlose Gültigkeit ihrer Sätze hat als Konsequenz, dass gerade der Effizienz der Sprache kaum Beachtung geschenkt wurde. Wenn aber die genaue Definition dieses Punktes von Barwise und Perry studiert wird, so erkennt man ein Profil der Sprachelemente, welches zusammen mit der Intention, die Mehrdeutigkeit von Aussagen als Gegebenheit zu akzeptieren, den Vorgaben der Arbeit erheblich nahe kommt:

“Unter Effizienz der Sprache verstehen wir folgendes: Ausdrücke, die von verschiedenen Leuten, an verschiedenen Orten, zu verschiedener Zeit, mit unterschiedlichem Zugang zur Welt um sie herum gebraucht werden, können ganz verschieden interpretiert werden, obwohl sie dabei ihre sprachliche Bedeutung bewahren.” [Barwise/Perry 1987, S. 5]

Der Begriff der Effizienz steht damit im Einklang mit dem in Kapitel 3.1 entworfenen Pragmatikbegriff. Effizienz deckt aber auch einen Teilbereich dessen ab, was Quine mit seinem angeblich dubiosen Ähnlichkeitsbegriff umschreibt, nämlich die immerwährende Möglichkeit, einen geäusserten Satz einer Sprache auf ähnliche Situationen wieder anzuwenden ohne Bestimmtheitsgarantie der Reizbedeutung. Es versteht sich sonach von selbst, dass Quines zeitlose Sätze unter die nicht-effizienten Sätze von Barwise und Perry fallen. Diese sind aber lediglich als Spezialfälle von allgemeinen Sätzen zu betrachten, weshalb die zeitlosen Sätze und ihre Äusserungsereignisse problemlos ihren Platz in der Theorie der Situationen finden.

Ein Hauptaspekt der Effizienz der Sprache liegt in der Wiederverwendbarkeit der Sprachelemente. Eine erfolgreiche Analyse der Effizienz erfordert folglich die Untersuchung des Verwendungskontextes von Äusserungen, und zwar anhand der drei Faktoren der Diskurssituation, der Sprechverbindung und der Rekurssituation. Die Diskurssituation berücksichtigt die Tatsache, dass es bei jeder Äusserung jemanden geben muss, der an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt diese Äusserung macht. Die Sprechverbindung steht dafür, dass der Sprecher aus seinen vergangenen und gegenwärtigen Wahrnehmungen Beziehungen zu Objekten, Eigenschaften, Orten und Zeiten knüpft, von denen er Gebrauch machen kann, indem er sich auf sie bezieht. Wenn beispielsweise ein Sprecher jemandem sagt, 'Franz isst', so teilt dieser jenem etwas über eine ganz bestimmte, dem Sprecher bekannte Person namens Franz mit. Die Rekurssituation schliesslich steht für die Fähigkeit des Sprechers, sich eines bestimmten Sachverhaltes zu bedienen, um damit Angaben über einen anderen Sachverhalt zu übermitteln. Wenn beispielsweise jemand sagt, 'das Kind, das gerade am Fenster vorbeispringt, hat vorhin gegessen' und dabei meint, dass Franz vorhin gegessen hat, so liegt eine Rekurssituation vor.

Der Begriff der Situation erlaubt nach Barwise und Perry die Formulierung dessen, was die beiden Forscher die relationale Theorie der Bedeutung nennen wollen. Ausgehend von den vier beobachteten Beispielen:

- Rauch bedeutet Feuer,
- küssen heisst berühren,

- Klingelzeichen bedeutet das Ende der Schulstunde und
- Keks bedeutet Keks⁽³¹⁾.

die stellvertretend für zahllose andere Beispiele erwähnt seien, entsteht die Erkenntnis, dass eine Situation S_1 nur dann Informationen über eine andere Situation S_2 enthält, wenn eine Beziehung zwischen dem Situationspaar (S_1 , S_2) existiert, die je eine Konfiguration von Gleichförmigkeiten mit S_1 respektive mit S_2 teilt. Mit anderen Worten wird hier postuliert, dass 'Bedeutung' nur als Beziehung zwischen verschiedenen Situationstypen verstanden werden kann. Die entsprechenden Beziehungen zwischen den Einzelsituationen werden entsprechend die bedeutungskonstituierenden Beziehungen genannt. Damit wird klar, dass die Bedeutung ähnlich wie die Sprache im allgemeinen auch das Merkmal der Effizienz besitzt. Dies gilt freilich nicht bloss für die sprachliche Bedeutung, sondern für jede Art von Bedeutung, so auch für die Bedeutung kognitiver Zustände oder die Ereignisbedeutung. Letzteres belegen Barwise und Perry mit dem folgenden, äusserst plausiblen Beispiel:

“Ganz ähnlich bedeutet das Heraustreten des Rauchs aus dem Fenster dort drüben, dass gerade jenes Haus da in Flammen steht. Nun kommt genau diese spezifische Situation, nämlich dass zu jener bestimmten Zeit aus jenem bestimmten Haus Rauch herausdringt, nie wieder. Sehen wir später einmal Rauch aus dem Haus dringen, so handelt es sich dabei um eine neue Situation, die genaugenommen etwas anderes bedeutet, nämlich dass das Gebäude in dieser Situation und zu dieser späteren Zeit in Flammen steht. Eine jede dieser Rauchsituationen bedeutet also zunächst nur, dass das betreffende Gebäude hier und jetzt brennt.” [Barwise/Perry 1987, S. 18]

Den beiden Situationen ist gemeinsam, dass Rauch aus einem Gebäude drang, womit sie vom selben Typ sind, einem Typ, der das Feuer bedeutet. Beide Ereignisse weisen demnach dieselbe Ereignistyp-Bedeutung auf. Sie ereigneten sich aber zu verschiedenen Raum-Zeit-Punkten, was den Unterschied und damit die Einmaligkeit des einzelnen Ereignisses und daher auch der Einzelbedeutung ausmacht.

Diese Erkenntnis lässt Barwise und Perry zum Schluss gelangen, dass die Bedeutungen von ausser-sprachlichen Situationen auch ausserhalb der Sprache zu suchen sind, und zwar in Form von systematischen und konstanten Beziehungen zwischen Situationen, wie beispielsweise Naturgesetzen. Solche Beziehungen nennen die beiden Forscher Beschränkungen. Dass eine Situation Information über eine andere Situation enthält und demnach etwas bedeuten kann, liegt gerade an derlei Beschränkungen, wobei diese Information von einer Person erst dann als solche erkannt werden kann, wenn sie an solcherlei Beschränkungen angepasst ist. Barwise und Perry gehen sogar so weit zu sagen, dass erst eine Anpassung an Beschränkungen das Leben ermögliche, denn die Realität sei hoch strukturiert mit ebensolchen Beschränkungen, und erst diese Strukturierung erlaube intelligentes Leben und gestatte es, dieses aufrechtzuerhalten (vgl. [Barwise/Perry 1987, S. 124]).

Die Situationstheorie unterscheidet grundsätzlich drei Arten von Beschränkungen:

- 1) Notwendige Beschränkungen: Notwendig heissen jene Beschränkungen, die sich aus notwendigen Zusammenhängen ergeben, wie beispielsweise die Tatsache, dass jede Frau ein menschliches Wesen sei, oder dass jeder Kuss Berührung bedeute. Notwendige Beschränkungen treten jedoch auch bei der Individuierung von Objekttypen auf.
- 2) Nomologische Beschränkungen: Damit werden die unverletzlichen Regelmuster der Natur, die sogenannten Naturgesetze bezeichnet.
- 3) Konventionelle Beschränkungen sind Beschränkungen, die auf expliziten oder impliziten Konventionen beruhen, die sich eine Gemeinschaft auferlegt hat. Solche Beschränkungen sind weder notwendig noch nomologisch, denn Konventionen können jederzeit verletzt werden, wie zum Beispiel das Läuten der Glocke eines Schulhauses, das nicht in jedem Fall das Ende der Schulstunde bedeuten muss.

Daneben unterscheiden Barwise und Perry zwischen unbedingten, in jedem Raum-Zeit-Gebiet gültigen Beschränkungen, den sogenannten Tatsachen, und den bedingten Beschränkungen, die nur unter speziellen Bedingungen gelten. Diese Aufteilung durchzieht nicht nur die konventionellen, sondern auch die notwendigen und die nomologischen Beschränkungen. Entsprechende Beispiele werden in [Barwise/Perry 1987, S. 130 ff.] vorgestellt.

⁽³¹⁾ Natürlich ist hier gemeint: Das Wort 'Keks' bedeutet das Gebäck Keks.

Die Beschränkung ist in der Situationstheorie ein zentraler Begriff, denn eine Situation kann nur dann etwas bedeuten, wenn eine Beschränkung von der Situation zu diesem Etwas, das auch eine Situation sein kann, existiert. Eine wissenschaftliche Theorie der Semantik muss demnach hauptsächlich danach trachten, die zwischen den Situationen bestehenden Beschränkungen offenzulegen. Weil im allgemeinen Fall neben den unbedingten Beschränkungen auch bedingte Beschränkungen an einer Situation teilhaben, wird eine vollständige Offenlegung sämtlicher Beschränkungen selten gelingen. Es ist nämlich stets eine Frage des situativen Kontextes, welche der bedingten Beschränkungen als solche erkannt werden. Wenn aber eine semantische Beziehung auf eine bedingte Beschränkung zurückgeführt werden kann, kommt ihr gleichzeitig das pragmatische Merkmal der Kontextabhängigkeit zu. Wir finden somit in der Situationstheorie ein unausgesprochenes Indiz dafür, dass Pragmatik und Semantik nicht unabhängig voneinander untersucht werden können.

Barwise und Perry betrachten die Sprache als Untermenge in der Menge der Situationen. Deshalb sind auch die sprachlichen Bedeutungen auf Beschränkungen zurückzuführen. Diese Art von Beschränkung ist stets konventioneller Natur, denn sie ist durch die entsprechende Sprachgemeinschaft festgelegt worden. Die sprachliche Beschränkung wirkt so als Relation zwischen Äusserungen und anderen Aspekten der objektiven Wirklichkeit wie Individuen, Raum-Zeit-Gebiete, Situationen sowie andere Äusserungen u. a. m. Erwartungsgemäss werden die sechs weiter oben vorgestellten semantischen Universalien, denen die Sprache unterliegt, mithin zu den Beschränkungen der Sprache gezählt.

Ein Problem, das bereits früher angesprochen wurde, ist die Frage um den Zusammenhang zwischen der sprachlichen Bedeutung und der Wahrheit von Aussagen. Für Barwise und Perry gibt es hierzu eine plausible Antwort: Die Wahrheit ist lediglich eine von vielen Beschränkungen, die den Sprechern durch die Bedeutung auferlegt wird. Würde nämlich immer nur das gesagt, was tatsächlich der Fall ist, so würde die Wahrheit nie als Eigenschaft wahrgenommen, die nur gewissen Äusserungen zukomme. Ein Satz sei deshalb für sich genommen nicht wahr oder falsch, sondern die Wahrheit sei immer im Verhältnis zwischen der Bedeutung des Satzes und der Interpretation der Äusserung des Satzes zu sehen:

“Die Interpretation einer Äusserung hängt von der Bedeutung der verwendeten Ausdrücke sowie einer Reihe zusätzlicher Faktoren ab, die bei der Äusserung eine Rolle spielen. Die Wahrheit einer Äusserung hängt wiederum davon ab, ob ihre Interpretation mit den Fakten übereinstimmt.”
[Barwise/Perry 1987, S. 7]

Eine Aussage ist nach Barwise und Perry dann wahr, wenn in ihrer Interpretation eine reale Situation liegt, oder anders gesagt wenn die externe und die mentale Signifikanz respektive Punkt 1 und 6 unter den semantischen Universalien eines Satzes übereinstimmen. Weil eine Aussage je nach Kontext einmal wahr, ein anderes Mal aber falsch sein kann (vgl. [Barwise/Perry 1987, S. 209 ff.]), wird ein relativer Wahrheitsbegriff gefordert: Eine Aussage u mit einer Interpretation P sei relativ zu einer realen Situation e wahr, wenn e in P liege. Damit wird die Möglichkeit von Äusserungen mit Interpretationen, die mit der Wirklichkeit in Konflikt stehen, anerkannt und in die Theorie der Situationen eingebettet.

Barwise und Perry haben mit ihrer Theorie der Situationen und deren Semantik eine Lehre geschaffen, die den Forderungen von Kapitel 2 an eine umfassende Informationstheorie in vielen Teilen nachzukommen scheint. Nicht nur die realen Konstellationen oder die Elemente der Sprache, sondern auch Ereignisse, kognitive Zustände, ja sogar 'unwahre' Äusserungen, das heisst Äusserungen, die nicht faktengerecht sind, werden auf einer abstrakten Stufe letztlich als Objekte derselben Art, als Situationen, erkannt. Weil ausserdem die Ereignisse unabhängig von ihrer Wirkung untersucht werden können, findet auch das Phänomen der unadressierten Information seinen Platz in der Situationstheorie. Auf diese Weise wird der Bereich dessen, was als Baustein einer Situation gelten kann, derart offen gestaltet, dass im Augenblick keine Lücken bezüglich der hier zu bestimmenden Informationstheorie auszumachen sind. Diese Situationen können beinahe beliebig mit anderen Situationen Relationen verschiedenster Art eingehen, so dass sie, ähnlich wie das Ding in Figur 4, in eine Hülle von Beziehungen eingebettet sind.

Grosse Beachtung verdient des weiteren die Einführung des Begriffs der Effizienz, der gemäss Barwise und Perry nicht nur auf sprachliche Situationen, sondern auch auf Situationstypen wie Bedeutungen oder kognitive Zustände angewendet werden kann. Damit wird die Wiederverwendbarkeit eines Situationstyps mit der gegebenen Möglichkeit einer unterschiedlichen situationsbedingten Interpretation angesprochen.

Zusammen mit der akzeptierten Mehrdeutigkeit der Sprache wird hier mit dem Tabu der Forderung nach Bestimmtheitsgarantie der Bedeutung gebrochen, das neben Quines Werk auch die meisten bisher veröffentlichten Informationstheorien durchzieht.

Darüber hinaus liefern Barwise und Perry indirekt Argumente zur Untermauerung der Idee, dass sich Syntax und Semantik nur durch die Richtung der entsprechenden Beziehung unterscheiden. Den Ausgangspunkt dazu liefert die Erkenntnis, dass die Bedeutung stets einer konstanten, apriori vorhandenen Beziehung, einer sogenannten Beschränkung entsprechen soll. Eine Beschränkung, sei sie eine notwendige, eine nomologische oder eine konventionelle, verkettet zwei Situationen S_1 und S_2 gleichsam untrennbar miteinander, wobei die Richtung der Beschränkung nicht von vornherein feststehen muss. Wenn nun eine Beschränkung zwischen S_1 und S_2 als ' S_1 bedeutet S_2 ' interpretiert wird, so ist einerseits die Richtung der Relation bestimmt (nämlich von S_1 nach S_2) und andererseits der Ausgangspunkt der Analyse auf S_1 gesetzt. Die Beschränkung zwischen S_1 und S_2 erscheint so als $r_{\text{semantische}}$ Beziehung, die von S_1 weg hin zu S_2 weist. Auf der anderen Seite könnte das Augenmerk der Analyse auf S_2 gesetzt werden. Die Interpretation derselben Beschränkung hiesse so nicht mehr ' S_1 bedeutet S_2 ', sondern ' S_2 impliziert S_1 '. Damit erscheint dieselbe Beziehung dem untersuchenden Individuum nicht mehr als wegweisende, sondern als herkommende und deshalb nach Kapitel 3.1 als $r_{\text{syntaktische}}$ Beziehung, die am strukturellen Aufbau von S_2 beteiligt sein mag.

Hierzu betrachten wir das Beispiel, dass Rauch Feuer bedeute, aus [Barwise/Perry 1987, S. 15 ff.]. Barwise und Perry beschreiben an diesem Exempel eine aussersprachliche Beschränkung, die die beiden Situationstypen Rauch und Feuer dergestalt verbindet, dass man sie mit 'Rauch bedeutet Feuer' interpretieren könne. Diese Setzung ist durchaus plausibel. Wenn nämlich ein Individuum irgendwo in seiner Umgebung Rauch aufsteigen sieht, so kann es mit gutem Grunde annehmen, dass an der fraglichen Stelle ein Feuer lodert. Die offensichtlich $r_{\text{semantische}}$ Beziehung 'Rauch bedeutet Feuer', die das Individuum aufgrund vergangener Erfahrungen kennt, verhilft ihm dabei zu dieser Erkenntnis. Wenn andererseits eine Person zuhause vor dem Kamin sitzt und dem dort brennenden Feuer zuschaut, so kann sie wegen derselben Beschränkung, die an anderer Stelle mit 'Rauch bedeutet Feuer' interpretiert wurde, schliessen, dass gleichzeitig aus dem Kamin des Hauses Rauch entweicht. Die Begründung hierfür ist einfach: Wiederum infolge der individuellen Erfahrung weiss diese Person, dass ein Feuer mithin als Flamme an brennbarem Material wirkt und dabei Rauch erzeugt. Die nunmehr $r_{\text{syntaktische}}$ Interpretation der Beschränkung heisst hier deshalb 'Feuer erzeugt Rauch', was unter der situationstheoretischen Annahme, dass eine Beschränkung zwei Situationstypen fest verbindet, auch mit 'Feuer impliziert Rauch' benannt werden kann. Es scheint demnach eine Frage der Interpretation der Beschränkung zu sein, ob die aus ihr abgeleitete Beziehung als $r_{\text{syntaktisch}}$ oder als $r_{\text{semantisch}}$ (gemäss den Vorgaben aus Kapitel 3.1) betrachtet werden kann.

Auch die Auslegung des Begriffs 'Pragmatik', wie sie in Kapitel 3.1 vorgeschlagen wurde, kann in die Situationstheorie eingebettet werden. Das Phänomen der Effizienz, das dritte semantische Universalium, deutet bereits an, dass Gedanken zur Pragmatik in der Situationstheorie angestellt wurden, ohne explizit geäussert zu werden. Entsprechende Anspielungen sind auch tatsächlich in [Barwise/Perry 1987, S. 44] zu finden. Viel deutlicher erkennt man indes den pragmatischen Ansatz, wenn die drei Beschränkungsarten analysiert werden. Der Einsatz von konventionellen Beschränkungen zeigt dabei am deutlichsten pragmatische Merkmale, denn diese Beschränkungen werden von einer Gemeinschaft festgesetzt und können je nach Situation jederzeit verletzt werden. Aber auch die Dienstbarmachung nomologischer und sogar notwendiger Beschränkungen hängt zuweilen vom situativen Kontext ab. Beide Kategorien werden von Barwise und Perry bekanntlich in die zwei disjunkten Teilmengen der immerwährend und der nur bedingt gültigen Beschränkungen eingeteilt. Es versteht sich von selbst, dass die letztgenannte Teilmenge nur akzidentiell angewendet werden kann. Wenn davon ausgegangen werden darf, dass sich die Beschränkungen sowohl $r_{\text{semantisch}}$ als auch $r_{\text{syntaktisch}}$ interpretieren lassen, und dafür gibt es Indizien, so könnte tatsächlich, wie in Figur 4 angedeutet, sowohl die $r_{\text{syntaktische}}$ als auch die $r_{\text{semantische}}$ Seite der Beziehungshülle in eine essentielle und in eine akzidentielle Teilmenge eingeteilt werden.

Die Situationstheorie von Barwise und Perry bildet so eine gute Grundlage für die Bestimmung der Information, denn sie verträgt sich offensichtlich in vielen Punkten mit dem Modell von Figur 4. Gegenüber Quines Theorie hat die Situationstheorie überdies den Vorzug, dass sie sich nicht bloss auf die Erforschung der Sprache beschränkt, sondern dass sie mitunter auch die aussersprachlichen Gegebenheiten

in die Untersuchungen mit einbezieht. Dergestalt werden die sprachlichen Elemente und die aussersprachlichen Konstellationen gleichsam als gleichberechtigte Forschungsgegenstände, nämlich als Situationen, nebeneinander gestellt.

Indes steht auch die Situationstheorie nicht ohne Makel da. So ist etwa die Tatsache, dass die Situationstheorie jene Beschränkungen, die für die komplexe Struktur der Realität verantwortlich sind, auch als Bestandteil dieser Realität sieht, nicht vereinbar mit der Annahme der modernen Hirnbiologie, dass die von uns wahrgenommene Welt, und damit auch die Beschränkungen dieser Welt, eine Konstruktion unseres Gehirns sei. Dieses Problem wird unter anderem in Kapitel 3.3.4 erörtert. Ein zusätzlicher Schönheitsfehler der Situationstheorie von Barwise und Perry liegt in der Art, wie die Erkenntnisse formalisiert werden. Die beiden Forscher entwickelten hierzu eine neue Notation in Form einer formal-logischen Algebra auf der Grundlage endlicher Objekte, was an und für sich zu den Vorgaben der eben zusammengefassten Situationstheorie passt. Die Tatsache aber, dass ein Barwise-Perry-Satz analog zu den Sätzen der Prädikatenlogik stets auf eindeutige, nicht aber auf mögliche Existenzaussagen baut, kann die Situationstheorie in dieselbe Sackgasse führen, in die Quine geriet, als er nach der Bestimmtheitsgarantie von Aussagen fragte. Die Bedeutungsbeziehungen einer Situation können nämlich keineswegs immer eindeutig ermittelt werden, und es muss bezweifelt werden, ob die Effizienz aller Situationen und Beziehungen je in ihrer vollen Mannigfaltigkeit erfasst werden kann. In Anlehnung an die Thermodynamik wäre hier eher ein Formalismus am Platz, der quantitative Aussagen ermöglichte. Genau dieses Problem wird uns weiter unten in Kapitel 4 im Detail beschäftigen.

3.3 Lernen und Wissen

Die Diskussion um die Grundbegriffe drehte sich bisher vornehmlich um die Bestimmung der Begriffe Syntax, Semantik und Pragmatik und deren Umdeutung auf die Bedürfnisse einer noch zu definierenden Informationstheorie. Dabei wurde ein wichtiger Aspekt übergangen, nämlich die Frage nach dem Verhältnis zwischen den Begriffen Information und Wissen. Die Ausführungen der Einleitung und des historischen Überblicks haben indessen gezeigt, dass dieses Problem in verschiedenen Informationstheorien Gegenstand ausführlicher Erörterungen ist. In [Heyderhoff/Hildebrand 1973] etwa, aber auch in [Bar-Hillel 1964] wird der Informationsprozess als ein Vorgang der Wissensgewinnung im Sinne einer Reduktion von Unsicherheit beschrieben, wobei die Information nach Abschluss des Vorgangs verbraucht sei. Auch Donald M. MacKay sieht im Informationsvorgang den Grundstein zu einer Wissensvermehrung, nur ist hier anschliessend die Information nicht verbraucht, sondern sie hat lediglich ihre Form gewechselt, denn das Informationselement wird durch die Informierung in das Wissen, das MacKay als zusammenhängende Repräsentation versteht, eingebettet. Wissen und Information werden deshalb von MacKay nicht als gänzlich verschiedene Konzepte erkannt, sondern Wissen selber entpuppt sich als eine gesonderte Art der Information. Fred I. Dretske schliesslich hält fest, dass dem Wissen, dass s gleich F sei, die Information, dass s gleich F sei, vorausgehe. Die Information sei aus diesem Grunde ein semantisches Konzept ähnlich wie die Bedeutung, und der Zusammenhang zwischen Wissen und Information bestehe in der eben vorgestellten kausalen Beziehung.

Die Ausführungen der vorliegenden Arbeit zielen eindeutig in die von MacKay vorgespurte Richtung. Ein allgemein bestimmter Informationsbegriff, der neben der funktionell-kybernetischen auch die strukturell-attributive Form der Information umfassen soll, wird deshalb eher der von Johannes Peters und Carl Friedrich von Weizsäcker unterstützten Vermutung nachkommen, wonach Wissen ein Spezialfall von Information sei. Eine solche Annahme kann aber erst nach vorgängiger Untersuchung des Wissensbegriffs begründet werden.

3.3.1 Initiale Betrachtungen

Unter den bis dato zitierten Wissenschaftlern sind einige, die sich Gedanken zum reinen Begriff des Wissens und dessen Erwerb, dem Lernen, gemacht haben. Die verschiedenen Ausführungen vermitteln

dabei kein einheitliches Bild. Das kann indes nicht erstaunen, denn selbst in den entsprechenden Fachrichtungen der Psychologie und der Philosophie wird ein eindeutiges Konzept des Lernens und Wissens vermisst. Im Sinne einer Einstimmung ins Fachgebiet sollen im folgenden daraus einzelne Ideen kurz vorgestellt werden.

Für Hans Titze etwa besteht das Wissen in seiner allgemeinsten Form aus einer Menge von Nachrichten, die sich aus Sätzen, Vorstellungen, Begriffen und eigenen Erlebnissen zusammensetzen. Diese Nachrichten seien unbewusst, solange sie im Gedächtnis 'ruhen', könnten aber jederzeit bewusst werden. Das Lernen lasse sich demzufolge mit dem sukzessiven Hinzufügen von Nachrichten nach dem Shannonschen Kommunikationsmodell erklären.

Neben Titze haben auch Barwise und Perry Gedanken zu Wissen und Lernen geäußert. Entsprechend ihrer Theorie der Bedeutung sind deren epistemologischen Ideen in die Theorie der Situationen eingebettet. Ein Organismus⁽³²⁾ sei Teil einer Wirklichkeit bestehend aus Situationen, an denen er teilhaben kann (reale Situationen) oder die ihm eigen sind (geistige Zustände). Da Barwise und Perry die geistigen Zustände als epistemische Einstellungen wie Wissen oder Glauben verstehen, leuchtet es ein, dass sie das Lernen als einen Vorgang respektive Ereignisverlauf auffassen, der allgemeine Situationen in solche Einstellungen abbildet. Dieser Vorgang erfolge meistens ausgelöst durch die Sinne, doch auch der nicht-perzeptive Wissenserwerb wird in ihrer Theorie nicht ausgeschlossen.

Das Wissen selbst muss nach Barwise und Perry als geistiger Zustand eine faktengerechte Entsprechung in der Wirklichkeit haben, ansonsten wird dieselbe Einstellung dem Begriff des Glaubens zugerechnet. Allerdings werden Wissen und Glauben in [Barwise/Perry 1987] nicht eindeutig gegeneinander abgegrenzt. So sei Wissen mitunter eine Form des Glaubens, die auf dem Wirklichkeitsgrad des Gewussten gründe. Zudem sei ein wechselseitiger Übergang eines der beiden geistigen Zustände in den anderen möglich, sofern sich der situative Kontext im Verlaufe der Evolution änderte. In diesem Sinne sei Glauben gescheitertes Wissen, wenn das Gewusste in der neuen Situation keine faktengerechte Entsprechung mehr habe, vom Organismus aber immer noch für richtig erachtet wird. Umgekehrt sei Wissen erfolgreiches Glauben, sofern die vormals nicht untermauerte Überzeugung jetzt durch ein entsprechendes Faktum der Wirklichkeit ihre Bestätigung finde.

Weit klarer drückt sich Quine in seinen epistemologischen Betrachtungen aus. Entsprechend seinen Untersuchungen zur Semantik stehen dabei sprachphilosophische Aspekte im Vordergrund. Das empirische Wissen, das letztlich auf der Sinneserfahrung und dabei in erster Linie auf der Beobachtung gründe, könne sich erst im sogenannten 'Sprechen über Gegenstände' verwirklichen. Die Einheiten der Wahrnehmung seien so zwar die erkenntnistheoretischen Bauklötze, ohne Einbettung in ein humansprachliches Umfeld entbehrten sie aber jeglichen epistemologischen Wertes. Daher muss sich für Quine das Lernen im Erwerb verbalen Verhaltens vollziehen. Das Wissen um einen Sachverhalt wird damit gleichbedeutend mit der Fähigkeit, diesen Sachverhalt zu beschreiben.

Der Prozess des Lernens wird nach Ansicht Quines in hohem Masse durch das menschliche Vermögen bestimmt, Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Dingen zu erkennen. Nur so könnten verallgemeinerte, abstrakte Ideen entstehen. Will ein Kind zum Beispiel die Farbe 'Gelb' lernen, so muss es mit Hilfe verschiedener Einzelfälle den entsprechenden Gültigkeitsbereich abstecken. Das gelänge nur durch Versuch und Irrtum mittels Vorlagen, anhand derer das Kind untersuche, wie rötlich, bräunlich oder grünlich ein Ding sein darf, um immer noch als gelb zu gelten. Wenn es bei einer Anwendung des Wortes zu weit daneben gegriffen habe, könne es dieses falsche Beispiel als Muster für das Gegenteil verwenden (vgl. [Quine 1975 c, S. 167]).

Quine unterscheidet sechs Lernphasen des Spracherwerbs, die sich wie folgt durch die Art der erlernten Terme unterscheiden:

- 1) Kontinuative Terme wie 'Wasser' und 'Mama' stehen für eine primitive Phase des Lernens, weil der Unterschied zwischen Singulärem und Allgemeinem hier noch nicht relevant sei. Gewisse kontinuitive

⁽³²⁾ Unter Organismus verstehen Barwise und Perry diejenigen Teile der Wirklichkeit, die zur Wahrnehmung und zum Handeln fähig sind.

Terme wie 'Mama' können sich aber in späteren Lernphasen zu Namen von beobachteten raum-zeitlichen Gegenständen entwickeln.

- 2) Individuative Terme werden in der zweiten Phase gelernt. Darunter versteht Quine allgemeine Terme wie beispielsweise 'Apfel', die auf jeden einzelnen von vielen Gegenständen zutreffen.
- 3) Die dritte Phase ist gekennzeichnet durch das Lernen von hinweisenden singulären Termen wie 'dieser Apfel'. Damit entstehe erstmals die Möglichkeit, dass ein ernsthaft gebrauchter singulärer Term wegen eines Irrtums nichts benennt, denn das Objekt, auf das mit dem Ausspruch 'dieser Apfel' hingewiesen wird, könnte ebenso eine Attrappe sein.
- 4) Die attributive Verknüpfung von allgemeinen Termen untereinander markiert die vierte Phase im Spracherwerb. Nun erhalten wir des weiteren allgemeine Terme wie 'blauer Apfel', die auf nichts zutreffen.
- 5) In der fünften Phase werden komparative Terme auf singuläre Terme angewendet: 'kleiner als dieser Fleck'. Hier können Terme gebildet werden, die zugegebenermassen niemals beobachtet werden können, ohne wie die blauen Äpfel als nicht-existent abgelehnt zu werden.
- 6) Die sechste Phase schliesslich wird charakterisiert durch das Auftreten von abstrakten singulären Termen wie 'Röte', 'Rundheit' oder 'Menschheit', die als Namen von Eigenschaften und Klassen gedacht sind.

Quine beschreibt mit diesen sechs Lernphasen nicht nur den Weg, den ein sprachlernendes Kind durchlaufen muss, um die von der Sprachgemeinschaft akzeptierte Ontologie erkennen zu können, sondern er veranschaulicht damit gleichzeitig das Dilemma, in dem eine auf dem Wahrheitsbegriff basierende Philosophie steckt: Eine notwendige und wünschenswerte Vermehrung des Wissens kann nur mit dem störenden und für Quine unakzeptablen Nebeneffekt erkaufte werden, dass die Möglichkeit der Falschanwendung der immer wachsenden Anzahl an Termen stets grösser wird.

Die hiermit kurz zusammengefassten Auffassungen zum Thema Wissen und Lernen sind jeweils Bausteine von weitergehenden Theorien und können als solche keinen umfassenden Überblick über den 'State of the Art' des Faches geben. Insbesondere fehlen wichtige Aspekte der Lernpsychologie und vor allem der modernen biologischen Gehirnforschung, die bereits heute interessante und aussagekräftige Ergebnisse betreffs der Wissensrepräsentation und der Inferenzfähigkeit im Gehirn vorweisen können. Genau diese Punkte werden das Thema von Kapitel 3.3.2 und 3.3.3 bilden.

3.3.2 Lernen aus psychologischer Sicht

3.3.2.1 Alternative Erkenntnislehren

Unter den wissenschaftlichen Disziplinen zeichnet sich die Psychologie dadurch aus, dass sie sich seit ihren Ursprüngen mit der Frage beschäftigt, wie Wissen zustande kommt. Es scheint deshalb angebracht, im Rahmen von Kapitel 3.3 einige Leitgedanken dieser Fachrichtung zum besagten Thema zusammenfassend wiederzugeben. Als Hauptquelle für den nachfolgenden Überblick diene neben anderen Arbeiten vor allem das Werk 'Theorien des Lernens I' von Gordon H. Bower und Ernest R. Hilgard.

Die Psychologie kennt keine einheitliche Lern- und Wissenstheorie, sondern vielmehr verschiedene Ansätze, die die Fragen bezüglich der Entstehung von Wissen auf zum Teil stark divergierende Weise zu klären versuchen. Nach Ansicht von Bower und Hilgard lassen sich die unterschiedlichen Lehrmeinungen prinzipiell in zwei gegensätzliche Positionen einteilen, nämlich in die behavioristischen Lerntheorien, die auf die philosophische Richtung des Empirismus zurückgehen, und in die Kognitionspsychologie, die sich auf den Rationalismus beruft. Daneben gebe es einige psychologische Richtungen, die in manch wichtigen Fragen beiden Seiten angehörten.

Der Behaviorismus vertritt entsprechend den Paradigmen des Empirismus die Auffassung, dass alles Wissen aus der Erfahrung, das heisst aus Sinneseindrücken ableitbar sei. Demgemäss müssten komplexe Vorstellungen aus einer Grundmenge von einfachen Vorstellungen zusammengesetzt sein, auf die jene wiederum zurückgeführt werden können (Reduktionismus). Die einfachen Vorstellungen oder geistigen Elemente entstünden ihrerseits durch Assoziation zeitlich benachbarter Erfahrungen. Der Geist berge

demnach ähnlich einer Maschine keine mysteriösen Züge und sei aus einfachen Bestandteilen aufgebaut. Damit stempeln die Behavioristen den Geist als mehr oder weniger passiven Speicher von Abfolgen von Sinneseindrücken ab. Dazu im Widerspruch steht die offensichtliche Fähigkeit des Geistes, durch Abstraktion Erkenntnisse zu gewinnen. Um diese Geistestätigkeit zu erklären, führen die Behavioristen den Begriff der Reflexion ein. Sie umschreiben damit die Fähigkeit des Geistes, "Ideen aus dem Gedächtnis abzurufen, zu vergleichen und zu einem Schluss zu gelangen, welcher als weitere Assoziation gespeichert wird" [Bower/Hilgard 1983 a, S. 20]. Die Erkenntnis aus Sinneserfahrung ist für den Behavioristen also letztlich auch in diesem Fall der Ursprung des Wissens.

Genau umgekehrt verhält es sich mit jenen Lerntheorien, die der philosophischen Position des Rationalismus nahestehen. Die Kognitionspsychologen behaupten, dass das Denken und nicht die Sinneseindrücke oder die Intuition die Hauptquelle des Wissens sei. Für sie sind die Sinneseindrücke "unstrukturiert, undifferenziert und chaotisch und stellen nur das Rohmaterial für einen Deutungsprozess dar, der sie als Hinweise auf möglichen Sinn behandelt" [Bower/Hilgard 1983 a, S. 21]. Die einzelnen Wahrnehmungseinheiten seien sonach nicht bloss aus elementaren Sinnespunkten, sondern vor allem aus Relationen zwischen diesen Sinnespunkten aufgebaut. Des weiteren findet der Rationalist allein im Vorhandensein von apriorischen Einschränkungen wie dispositionell verankerten Vorstellungen eine Erklärung für die Fähigkeit des Organismus, die Wahrnehmungsdaten zu strukturieren. Am Beispiel eines bekannten Musikstückes könne nämlich leicht festgestellt werden, dass nicht eine Sequenz von Tönen, sondern eine ganze Melodie wahrgenommen werde.

Die rationalistischen Behauptungen, besonders die These angeborener Ausrichtung der Reizverarbeitung, finden nach gängiger Einschätzung im Phänomen des frühkindlichen Spracherwerbs eine evidente Bestätigung. Unabhängig von der Sprache selbst entwickelt sich die Sprachkompetenz aller Kinder mehr oder weniger gleich und ungefähr im selben Alter. Angesichts der Tatsache, dass dabei eine äusserst komplizierte und abstrakte Vielfalt von Transformationsregeln von aneinander gereihten Sprechlauten in 'Bedeutung' und umgekehrt gelernt wird, könne die rein behavioristische Erklärung nicht genügen. Peter D. Eimas etwa stellt als Ergebnis von einschlägigen Experimenten fest, dass Kleinkinder analog zu Erwachsenen Unterschiede in der Stimm-Einsatz-Zeit kategorial wahrnehmen, und zwar in einem Alter, in dem diese Form der Wahrnehmung kaum auf einen Lernprozess zurückzuführen ist (vgl. [Eimas 1990, S. 123 f.]). Damit erhält der an sich veraltete Gedanke vom Linguisten Noam Chomsky, wonach das Kind mit einem dispositionell verankerten Satz linguistischer Universalien ausgestattet sein müsse, neuen Auftrieb. Auf der anderen Seite muss dieser Idee entgegengehalten werden, dass die effektiv gelernte Sprache tatsächlich ein Produkt von Sinneseindrücken ist, wie die grossen Unterschiede in den Lautsystemen der menschlichen Sprachen deutlich machen, die unabhängig der Herkunft von jedem Kleinkind erlernt werden können.

Offensichtlich tragen beide Anschauungen, die empiristische wie die rationalistische, aus psychologischer Sicht zur Erklärung von Aspekten der Wissensentstehung bei, jedoch ohne Vollständigkeit beanspruchen zu können, und es lässt sich einstweilen noch nicht abschätzen, welcher Betrachtungsweise der Vorzug zu geben ist.

3.3.2.2 Das Lernen

Mit der Präsentation der beiden gängigsten epistemologischen Allgemeinkonzepte wurden Fragen um das Wissen und dessen Repräsentation im Subjekt, nicht aber die Frage um den Erwerb des Wissens, das Lernen, diskutiert. Im Zusammenhang mit dem Informationsbegriff, besonders jenem Gesichtspunkt, der das Wissen erweitern soll, ist aber gerade dieser Aspekt der Psychologie von grossem Interesse. In Nachschlagewerken wird Lernen beschrieben als die

"zusammenfassende Bezeichnung für die Prozesse, die ein Individuum befähigen bzw. veranlassen, sein Verhalten zu ändern, sofern die Verhaltensänderung nicht durch organische Reifung, Ermüdung, Sinnesadaptation oder Eingriffe von aussen (z. B. Verletzungen, Medikamente), sondern allein durch die frühere Begegnung mit der Situation hervorgerufen wird." [Knaurs 1974, Band 11, S. 3650]

Lernen wird demnach nur in jenen Fällen angenommen, wo es keine andere Erklärung wie Reifung, Ermüdung oder Gewöhnung gibt.

Für Bower und Hilgard besteht das einfachste Wissen lediglich in einer biographischen Ereignisaufzeichnung (vgl. [Bower/Hilgard 1983 a, S. 27 f.]). Auch wenn es sich dabei nicht um tiefgründige Weisheiten handle, seien dies doch Komponenten der Welterkenntnis des Organismus. Eine entsprechende Lernepisode, der sogenannte Lerndurchgang, stellen Bower und Hilgard ähnlich wie in Figur 5 tabellarisch dar. Anhand eines Vortestes wird der Wissenszustand des Subjekts erschlossen. Hernach wird im Subjekt durch Konfrontation mit einem Ereignis die Bildung einer Gedächtnisspur provoziert und diese durch mehrfache Wiederholung desselben Vorganges gesichert. Mit 'Lernen' wird nun die gesamte Wissensdifferenz zwischen dem Zeitpunkt 0 (vor dem ersten Durchgang) und dem Zeitpunkt n (nach erfolgter Spurensicherung) bezeichnet. Das auf diese Weise Hinzugelernte kann mittels 'Spurenabruf' in Form von Abrufhinweisen dahingehend getestet werden, was das Subjekt vom Zielereignis weiss.

Zeit	Erschlossene Zustände und Ereignisse	Psychologische Begriffe
0	Vorgängiger Wissensstand von S	Vortest
1	U konfrontiert S mit Ereignis X	Spurenbildung (Erwerb)
2	S erlebt/erfährt Ereignis X	
3	Neuer Wissensstand	
.		Spurensicherung (durch mehrfache Wiederholung der spurenbildenden Prozesse)
.		
.		
.		
n	'Veränderter' Wissensstand von S	Spurenabruf Spurenverwendung
n+1	U gibt Hinweisreiz, um das Wissen von S zu prüfen	
n+2	S antwortet oder reagiert	

Figur 5: Flussdiagramm der wichtigsten Ereignisse innerhalb einer Lernepisode (S steht für Subjekt und U für Umgebung).

Während bezüglich der Definition des eigentlichen Lernens unter den Psychologen relatives Einvernehmen herrscht, gibt es bezüglich der Formen des Lernens etliche Streitpunkte zwischen den verschiedenen Lerntheorien. Als Beispiele unterschiedlicher Auffassungen seien die beiden Fragen nach dem Lerngegenstand und dem Problemlösevorgang erwähnt. Die Frage, was gelernt wird, beantwortet der Reiz-Reaktions-Theoretiker gemäss Bower und Hilgard mit 'Gewohnheiten' und der kognitive Theoretiker mit 'kognitive Strukturen'. Dabei beziehen sich beide auf Beobachtungen des Alltags: Wenn zum Beispiel ein Quartierbewohner Q den Weg zu seinem Quartiertreff findet, so erklärt dies der Behaviorist damit, dass Q den Weg aus der Erfahrung des wiederholten Abschreitens kennengelernt habe, während der Kognitionspsychologe der Meinung ist, Q wisse, wo der Quartiertreff sei, was ihm wiederum erlaube, diesen von unterschiedlichen Orten her erfolgreich anzusteuern. Von ähnlicher Natur sind die Antworten, die auf die Frage nach dem Problemlösevorgang gegeben werden. Der Reiz-Reaktions-Theoretiker sucht die Lösungsvoraussetzungen in der Vergangenheit, wobei er diese mit der Methode 'Versuch und Irrtum' auf die neue Situation anwendet. Demgegenüber achtet der kognitive Theoretiker mehr auf die aktuelle Strukturierung des Problems, das, sofern nicht mit Erfahrung, so doch mit Einsicht gelöst werden könne.

Die eben beschriebenen Unterschiede repräsentieren bei weitem nicht alle Meinungsverschiedenheiten zwischen den psychologischen Richtungen. Sie zeigen aber unmissverständlich auf, in welcher Art sich die verschiedenen Ansichten der Psychologie hin zu vermeintlich unvereinbaren Standpunkten auseinanderentwickelt haben. Die Tatsache indessen, dass die meisten dieser Lehren der alltäglichen Anschauung entspringen, lassen die Hoffnung aufkeimen, dass die Schaffung eines Oberbaus über die verschiedenen Auffassungen nicht ausgeschlossen ist. Überdies sprechen die in den folgenden Abschnitten zusammengefassten Ergebnisse der modernen Hirnbiologie dafür, dass das, was die Kognitionspsychologen eine 'kognitive Struktur' nennen, stets seine Entsprechung in den verschiedenen Hirnregionen haben könnte. Damit würden aber die kognitionspsychologischen Forschungsergebnisse in reduktionistischer Weise zergliederbar, was wiederum ihre Einbindung in die behavioristischen Lehren ermöglichen könnte.

3.3.3 Biologische Entsprechungen

Neben der Psychologie und der Philosophie hat sich in jüngster Zeit auch die Hirnbiologie mit Fragen des Lernens und des Wissens, besonders deren physischer Repräsentation im Gehirn, beschäftigt. Zwar beruhen viele Folgerungen dieser Fachrichtung auf vergleichsweise spekulativen Grundlagen, doch die Ergebnisse der biologischen Hirnforschung vermitteln insgesamt ein einheitliches und gesichertes Bild, weil sich die Experimente, auf denen die Resultate gründen, reproduzieren lassen und weil häufig dieselben Ergebnisse auf verschiedene Arten ermittelt werden können.

In der Biologie werden grundsätzlich zwei Arten von Lernen unterschieden, nämlich das phylogenetische und das ontogenetische Lernen. Unter Phylogenese wird die stammesgeschichtliche Entwicklung der Pflanzen- und der Tierwelt verstanden, während die Ontogenese die Individualentwicklung beschreibt. Die beiden Lernarten sind zwar von ihrem Wesen und vom beanspruchten Zeitraum her ausgesprochen verschieden, trotzdem beeinflussen sie sich wechselseitig stark. Das ontogenetische Lernvermögen hängt entscheidend von der phylogenetisch ererbten Grösse und Komplexität des Gehirns ab. Umgekehrt wird nach neuesten Vermutungen die phylogenetische Entwicklung nicht nur von den veränderten Umweltbedingungen, sondern auch von der Lernfähigkeit des Lebewesens beeinflusst. Allan C. Wilson behauptet etwa:

'(...), dass die viel höhere Evolutionsgeschwindigkeit der Säuger gegenüber den Fröschen möglicherweise mit ihrem grossen Gehirn zusammenhängt; ein grosses Gehirn erzeugt einen inneren Evolutionsdruck, der den Fröschen fehlt.' [Wilson 1988, S. 207]

Derweil sich das phylogenetische Lernen in Form von DNA-Sequenzen niederschlägt ⁽³³⁾, kann das ontogenetische Lernen viel weniger scharf umschrieben werden. Obschon die entsprechenden Kenntnisse ständig zunehmen, ist es aus neurobiologischer Sicht bis heute im wesentlichen ein Rätsel geblieben, wie ein Gehirn funktioniert, denn bisher konnten nur für sehr wenige Verhaltensleistungen die zugrunde liegenden neuronalen Prozesse aufgeklärt werden (vgl. [Crick 1990, S. 176] und [Singer et al. 1990, S. 9]). Trotzdem kann die Neurobiologie auf einige interessante und vielversprechende Resultate verweisen, wie den folgenden Erläuterungen zu entnehmen ist.

3.3.3.1 Die Nervenzelle und ihre funktionale Ausbildung

Die Nervenzelle bildet den Hauptbestandteil des Gehirns. Um die Funktionsweise des Gehirns zu verstehen, muss deshalb mitunter die Arbeitsweise der Nervenzelle untersucht werden. Dieser Zellentyp unterscheidet sich im Aufbau von den meisten anderen Zellen durch seinen hohen Verzweigungsgrad. Ausgehend vom Zellkörper unterscheidet man unter den Verzweigungen die Dendriten, welche Signale von anderen Nervenzellen empfangen können, und die Nervenfasern, das sogenannte Axon, mit dem die Nervenzelle ein Signal aussenden kann. Die Nervenfasern verzweigen sich ihrerseits an ihrem Ende in viele Äste, die alle mit sogenannten synaptischen Endknöpfchen in Synapsen an Dendriten anderer Nervenzellen enden (vgl. [Iversen 1988, S. 22] und [Stevens 1988, S. 4]). Die Synapsen, die als Schaltstellen zwischen den Nervenzellen funktionieren, besetzen somit eine Schlüsselstelle bei der Signalübertragung im Gehirn. In ihnen laufen während der interzellularen Kommunikation komplexe chemische Prozesse ab, die in [Stevens 1988, S. 11] und [Kandel 1988, S. 79] im Detail beschrieben sind. Nach der Art der Signalübertragung unterscheidet man zwischen aktivierenden (depolarisierenden) und hemmenden (hyperpolarisierenden) Synapsen.

Nach Günther Palm empfängt eine Nervenzelle über eine fünfstellige Anzahl Eingänge Signale von anderen Nervenzellen und kann über eine fünfstellige Anzahl Synapsen ihr Ausgangssignal an andere Nervenzellen abgeben. Da das menschliche Gehirn rund 10^{10} Nervenzellen enthält, entsteht im Gehirn ein Gesamttotal von etwa 10^{15} neuronalen Beziehungen, die gemäss Palm alle als Speichereinheiten im

⁽³³⁾ Das Phänomen der Erbinformation, ihre Speicher- und Abrufbarkeit auf molekularer Basis, ist in [Sitte et al. 1988] ausführlich beschrieben.

Gedächtnis verwendet werden können. Dabei wird gemäss [Alkon 1990 a, S. 83] eine gewisse Grundverschaltung als genetisch vorgegeben anerkannt, doch ein einwandfreies Funktionieren des Gehirns ist dadurch noch keineswegs vorbestimmt. Laut Wolf Singer gilt es nämlich als gesichert, dass das Gehirn des Menschen seine vielfältigen Leistungen nur im wechselseitigen Umgang mit der Umwelt entwickeln kann. In [Singer 1990, S. 50 ff.] begründet er diese These mit Hilfe von Beobachtungen an Kindern, deren Hornhaut und Linsen sich aufgrund von Infektionen und Verletzungen des Auges derart trübten, dass sie ihre Sehfähigkeit völlig einbüssten. Während es heute möglich ist, mit Hilfe mikrochirurgischer Methoden den optischen Teil des Auges zur Zufriedenheit des Patienten wieder herzustellen, brachte dieselbe Operation bei Kindern die Sehfähigkeit in jenen Fällen nicht zurück, wo die Trübung seit der Geburt oder den ersten Lebenswochen bestanden hatte und die Patienten erst nach Erreichen des Schulalters operiert worden waren. Kein einziger Patient konnte zunächst seine Augen benutzen. Nur wenige erlernten mühsam, einfache Muster zu erkennen und sich mit Hilfe ihres Gesichtssinnes zu orientieren. Viele brachen die Rehabilitationsbehandlung ab und zogen es vor, als Blinde weiterzuleben (vgl. [Singer 1990, S. 50]). Offensichtlich entwickeln die Sehrindenneuronen ihre Funktionsfähigkeit nur unter dem Einfluss visueller Erfahrung, und zwar in einer kritischen Phase, die nach Singer ungefähr bis zum Schulalter reicht. Damit lässt sich die Möglichkeit ausschliessen, dass die frühkindliche Erfahrung angeborene Leistungen bloss stabilisiert, denn offenbar bringt der Erfahrungszug den Entwicklungsprozess auf einer unreifen Stufe zum Erliegen.

Die visuellen Eindrücke sind gewiss nicht die einzige Quelle des Wissens, und es spricht nichts dagegen, dass die Gehirnentwicklung zur Verarbeitung von Signalen, die die nichtoptischen Organe übermitteln, ähnlich funktioniert. Ein Hinweis dafür mag die von Fernando Nottebohm in [Nottebohm 1990, S. 66 ff.] erwähnte Tatsache geben, dass Buchfinken, die in völlig schallisolierten Kammern grossgezogen wurden, nur einfache Gesangsmuster erlernten und auch dann nichts dazulernten, wenn sie nach der Geschlechtsreife mit dem Artgesang konfrontiert wurden. Vögel jedoch, denen unter analogen Rahmenbedingungen auf Tonband aufgezeichneter Buchfinkengesang über Lautsprecher während der Wachstumsphase vorgespielt wurde, lernten problemlos den Gesang nachzuahmen.

Diese Forschungsergebnisse zeigen deutlich, dass der in Kapitel 3.3.2 vorgestellte Konflikt zwischen den behavioristischen und den kognitionspsychologischen Lerntheorien vermutlich auf einer einseitigen Überbewertung gewisser Beobachtungen beruhen könnte. Beide Ansichten liefern richtige Argumente zur Beschreibung von Lernen und Wissen, denn das Gehirn hat zwar entsprechend der kognitionspsychologischen Anschauung ererbte Dispositionen, ohne die jegliches Lernen an sich unmöglich wäre, doch dasselbe Gehirn bliebe offensichtlich unfähig, ohne die nötige Erfahrung die von den Sinnen übermittelten Signale einwandfrei zu verarbeiten, ein Ergebnis, das den behavioristischen Standpunkt unterstützt. In diesem Sinne stehen sich die beiden psychologischen Richtungen bezüglich des Lernens nicht als Konkurrierende, sondern vielmehr als sich gegenseitig ergänzende Ansichten gegenüber.

3.3.3.2 Lernen aus biologischer Sicht

Die Beschreibungen in Abschnitt 3.3.3.1 dokumentieren, dass die Signalübertragung zwischen Nervenzellen durch eine Kette chemischer Reaktionen erfolgt. Die Vermutung liegt deshalb auf der Hand, dass ein ontogenetischer Lernvorgang die Neigung von Nervenzellen verstärkt (respektive abschwächt), miteinander zu kommunizieren. Mit anderen Worten müsste sich die biochemische Substanz einer Zelle bei einem Lernvorgang verändern, damit diese stärker (respektive schwächer) als normal auf das ankommende Signal reagieren kann.

Daniel L. Alkon zeigt anhand von Experimenten an der Meeresschnecke *Hermisenda*, dass solche Veränderungen bei Lernvorgängen effektiv eintreten und chemisch nachgewiesen werden können (vgl. [Alkon 1990 a, S. 74 ff.]). Die Versuchsanordnung war dergestalt konzipiert, dass ein Aufleuchten einer Lichtquelle mit kurzem Abstand von einer simulierten Meeresströmung gefolgt wurde, wobei die Strömung um so schwächer war, je näher sich das Tier bei der Lichtquelle befand. Wollte das Tier also der Strömung entfliehen, so musste es sich zur Lichtquelle hin bewegen. Alkon konnte nachweisen, dass *Hermisenda* gemäss den Charakteristiken der klassischen Konditionierung tatsächlich lernte, die beiden Reize miteinander zu assoziieren. Nach dem Training bewegte sich nämlich die Schnecke auch dann noch auf das Licht zu, wenn in der Folge keine Strömung mehr simuliert wurde. Der biochemische Befund am Tier

ergab, dass eine Konditionierung, die sich über mehrere Tage hin erstreckte, den Ionenfluss über die Membran langfristig änderte. Nach Alkon lässt sich die assoziative Lernfähigkeit von Hermissenda durchaus mit der eines Hundes oder sogar eines Menschen vergleichen. Den Argumenten, dass die grossen Unterschiede der Gehirne die Gültigkeit einer solchen These in Zweifel ziehen, begegnet Alkon mit der folgenden Aussage:

“Niedere Tiere können nur eine kleine Auswahl an Reizen assoziieren lernen; wir Menschen hingegen können assoziieren, was immer wir wahrnehmen. Unser Bewusstsein ermöglicht es, willentlich zu vergessen oder zu unterdrücken; es stellt Wahrgenommenes in einen breiten emotionalen Kontext, in den weit gespannten Bogen positiver und negativer Gefühle, die Assoziationen Wert und Bedeutung verleihen. Trotz alledem könnten sich die Biochemie und Biophysik des Lernens bei Schnecken und Menschen in vielem recht weitgehend gleichen. Vielleicht ist es die neurale Verschaltung, die den Unterschied ausmacht.” [Alkon 1990 a, S. 83]

Das von Alkon derart beschriebene Verhalten von Nervenzellen wird in [Kandel et al. 1991, S. 1019 ff.] und [Rahmann/Rahmann 1991, S. 228 ff.] als Langzeitpotenzierung (englisch 'long-term potentiation', abgekürzt LTP) bezeichnet. LTP steht für das Phänomen, dass die wiederholte hochfrequente elektrische Stimulation von Hirnregionen, etwa von in vitro untersuchten Hippocampusschnitten, Verstärkungen des neuronalen Antwortverhaltens von zuvor durch stimulierte Faserzellen erregten Nervenzellen verursachen können, die auch nach mehreren Stunden nachweisbar sind. Dabei genügt bereits eine kurzfristige LTP-Stimulation, um nachhaltige morphologische Veränderungen in den betroffenen Nervenendigungen zu erreichen, die in Form einer signifikanten Erhöhung der Anzahl von stabilisierten Synapsen zu erkennen sind. Nach Hinrich und Mathilde Rahmann wird damit eine Bestätigung der Vermutung von Donald O. Hebb aus dem Jahre 1949 erreicht, wonach die durch eine gleichzeitige Aktivierung eines prä- und post-synaptischen Neurons ausgelöste Verstärkung einer Synapse die Basis für eine Gedächtnisspeicherung sei.

Gemäss des eben geschilderten LTP-Konzepts müsste ein komplexer Lernvorgang, der in der Psychologie bekanntlich mit Spurenbildung bezeichnet wird, adäquate Veränderungen des Ionenflusses entlang einer längeren neuronalen Bahn hervorrufen. Ein lückenloser biochemischer Nachweis dieser Behauptung liegt heute zwar nicht vor, jedoch haben Mortimer Mishkin und Timothy Appenzeller interessante Hinweise gefunden, die diese These stützen. In ihren Untersuchungen konzentrierten sie sich darauf, die Verarbeitung visueller Informationen im Gehirn zu erforschen (vgl. [Mishkin/Appenzeller 1990, S. 96 ff.]). Dabei definierten sie als Sehbahn jenen neuronalen Verarbeitungsweg, der für die visuelle Wahrnehmung verantwortlich ist. Anhand von Fallstudien an Patienten, bei denen bestimmte Gehirnareale durch Krankheit oder Verletzungen beschädigt waren, und mit Hilfe experimenteller Forschung an Makaken (den Pavianen verwandte sogenannte 'Altweltaffen') erkannten die beiden Forscher, dass die visuelle Information entlang der Sehbahn Stück für Stück verarbeitet wird, wobei der Grad an Komplexität mit jeder Nervenzelle zunimmt:

“Die Zellen beantworten zunehmend mehr physikalische Eigenschaften eines Gegenstandes, zu denen Grösse, Form, Farbe und Oberflächenstruktur gehören, bis sie schliesslich auf den letzten Stufen der unteren Schläfenlappenrinde eine vollständige Abbildung (Repräsentation) des Gegenstandes erstellen. (...) Entlang der Sehbahn fügt das Gehirn also Sinnesdaten zu einem Wahrnehmungserlebnis zusammen.” [Mishkin/Appenzeller 1990, S. 96]

Dieses Ergebnis wird durch Anne Treisman in [Treisman 1990, S. 134 ff.] bestätigt, indem sie feststellte, dass komplexe Objekte nicht apriori, sondern erst über die Analyse von Eigenschaften und Bestandteilen und eine anschliessende Synthese erkannt werden. Anhand einer subtilen Versuchsanordnung demonstrierte sie, wie die Farbe eines roten Dreiecks nicht als Entsprechung des Dreiecks, sondern als eine Art abstrakter Code für Rot repräsentiert werden muss, der anschliessend mit dem Dreieck assoziiert wird.

Während Anne Treisman ihre Ergebnisse durch die Interpretation psychologischer Tests gewann, konnte Semir M. Zeki unlängst an Makaken Hirnregionen lokalisieren, die aktiv am Aufbau eines Wahrnehmungserlebnisses teilhaben, jedoch nur auf Teilaspekte des Gesamtbildes wie Farbe, Form, Tiefe oder Begegnung sensibilisiert sind (vgl. [Zeki 1992, S. 57 ff.]). Für ihn ist deshalb klar, dass den einzelnen Arealen der Sehrinde bestimmte Funktionen in der Objekterkennung zukommen. Zeki stellte ebenfalls fest, dass die

einzelnen Hirnareale getrennt arbeiten und dass der Ausfall eines Hirnareals die Objekterkennung zwar beeinträchtigt, nicht aber verunmöglicht. So lässt der Ausfall des Farbzentrums dennoch den Aufbau eines adäquaten Bildes des Objekts zu, wobei die Farben durch Graustufen ersetzt werden.

Lern- und Denkvorgänge gehen laut Luc Ciompi bei höheren Lebewesen, besonders aber beim Menschen stets einher mit Stimmungen, Gefühlen, Emotionen und Affekten. In seinem Konzept der Affektlogik ⁽³⁴⁾ postuliert Ciompi die Annahme, dass die ganze Komplexität psychischer Strukturen und Prozesse aus dem Wechselspiel von zwei grundlegenden und in ihrer Wirkung komplementären Einzelfunktionen erwache: einem qualifizierenden Fühlsystem, das mit einer kleinen Zahl von affektiven Grundzuständen wie Wut, Freude, Ärger, Trauer und Angst operiere, und einem quantifizierend-abstrahierenden Denksystem (vgl. [Ciompi 1993, S. 76 ff.]). Dem Fühlsystem komme dabei eine grundlegende organisatorische und integrative Funktion zu. Die Affekte respektive deren neurobiologische Korrelate, die Ciompi in Hippocampus und Amygdala, zwei wichtigen Strukturen an der Innenseite des Schläfenlappens, ortet, verbinden zusammengehörige kognitive Inhalte zu kontextabhängigen Fühl-, Denk- und Verhaltensprogrammen. Folglich sei die Lern- und Erinnerungsfähigkeit in hohem Masse abhängig vom affektiven Kontext des Individuums. So registriere etwa der Verliebte, der Glückliche und Euphorische völlig andere Aspekte der gleichen Umwelt als der Traurige, der Wütende oder der Verängstigte.

Nach Ciompi ist jedermann zu jeder Zeit in irgendwelcher Weise affektiv gestimmt. Nicht nur Freude und Trauer, sondern auch Entspannung, Harmonie und Nüchternheit, ja sogar Indifferenz seien Stimmungen mit entsprechenden physischen und körperlichen Begleiterscheinungen. Solche Affektzustände seien nicht etwa unergründliche Anwandlungen, sondern sie fänden vielmehr ihr neurologisches Gegenstück im Gehirn. Ciompi verweist hierzu in [Ciompi 1993, S. 83 f.] auf Ergebnisse aus anderen Forschungsprojekten, wonach anhand von Tierexperimenten sowie von Beobachtungen an Hirnverletzten ein Ärger-Wut-System, ein Furcht-Angst-System und ein Panik-Trauer-System lokalisiert wurden. Damit ist die Hirnbiologie dem physiologischen Nachweis eines Aspekts des Pragmatikbegriffs aus Kapitel 3.1.3 auf der Spur, nämlich der Tatsache, dass beim Wahrnehmungsvorgang eines Dings neben den das Ding betreffenden Struktureigenschaften gleichzeitig Angaben über die psychische Disposition des erfassenden Subjekts in dessen Gehirn eingespeichert werden.

Die Ergebnisse Ciompis vertragen sich gut mit den Ansichten Mishkins und Appenzellers betreffs der Erklärung perzeptiver Prozesse. Ein Wahrnehmungserlebnis kommt nämlich dadurch zustande, dass in Hippocampus und Amygdala, also jener Hirnregion, in welcher sich mitunter die Affektzustände bilden, die Sinneseindrücke derart miteinander assoziiert werden, dass sie als ganze Bilder erkannt werden können. Augenscheinlich entspricht dieser Vorgang der Spurenbildung in der psychologischen Lernepisode (dargestellt in Figur 5). Die Gedächtnisspur selber, mit welcher aus biologischer Sicht nicht bloss eine lineare Sequenz von Speicherplätzen im Gedächtnis, sondern ein verzweigter Pfad durch verschiedene Hirnareale hindurch gemeint ist, belegt mit grosser Wahrscheinlichkeit dieselben Gebiete im Gehirn, in denen die Sinneseindrücke Gestalt annehmen, denn eine Schädigung der unteren Schläfenlappenrinde kann zwar die visuelle Lernfähigkeit stark behindern, die alten Erinnerungen bleiben jedoch unversehrt. Mishkin und Appenzeller vermuten, dass die Synapsen zwischen den an der Spur beteiligten Nervenzellen derart verändert werden, dass das Verbindungsmuster konserviert und zu einem dauerhaften Gedächtnisinhalt, oder, um es in der Sprache des kognitiven Psychologen auszudrücken, zu kognitiven Strukturen umgeformt werden. Das Wiedererkennen von Objekten würde sich demnach in einer erneuten Erregung der Nervenzellanordnung durch ein ähnliches Wahrnehmungsereignis vollziehen (vgl. [Mishkin/Appenzeller 1990, S. 99]). Im eben zitierten Bericht wurde nur die Verarbeitung visueller Signale untersucht, doch sollen gemäss den Angaben der beiden Hirnforscher die Daten der anderen Sinne weitgehend ähnlich verarbeitet werden.

Ein weiteres überaus bemerkenswertes Ergebnis der Forschungsarbeit von Mishkin und Appenzeller gründet in der Beobachtung, dass sich Menschen mit lädiertem Hippocampus, die dadurch zu vielen Arten

⁽³⁴⁾ Die Affektlogik definiert Affekte, Emotionen, Stimmungen oder Gefühle wie Wut, Freude, Ärger, Trauer und Angst als umfassende qualitative Gestimmtheiten, deren Dauer von wenigen Sekunden (Emotionen im Sinn der Physiologie) bis zu vielen Stunden, ja Tagen und Wochen (Stimmungen im Sinn der Psychologie) reichen kann (vgl. [Ciompi 1993, S. 76]).

kognitiven Lernens nicht mehr befähigt sind, trotzdem komplexe Gewohnheiten wie Handzeichnen oder andere Geschicklichkeitsübungen aneignen können. Da diese Fertigkeiten von denen gesunder Menschen kaum zu unterscheiden sind, äussern Mishkin und Appenzeller die Vermutung, dass das Lernen auf zwei ganz unterschiedlichen und offenbar voneinander unabhängigen Systemen aufbaut (vgl. [Mishkin/Appenzeller 1990, S. 103 f.]): Das eine System besitzt die Fähigkeit, nichtkognitive Gewohnheiten gemäss dem Schema der klassischen Konditionierung zu lernen. Dieser Vorgang, der häufig mit implizitem Lernen bezeichnet wird, läuft verhältnismässig langsam ab, denn die zu assoziierenden, zeitlich aufeinander abgestimmten Reize gehen erst durch stetes Wiederholen der entsprechenden Situation ins Gedächtnis über. Das andere System ist die Grundlage des kognitiven Gedächtnisses. Das hierbei praktizierte explizite Lernen geschieht schnell und kann in einem Experiment schon während eines einzigen Versuchs stattfinden. Die dabei verknüpften Reize treffen oft simultan ein und können unterschiedliche Ursprünge haben. Sie werden in verschiedenen Hirnarealen gleichzeitig verarbeitet und erfahren im assoziativen Cortex die finale Verknüpfung zu einem Wahrnehmungserlebnis.

Damit sind anatomische Entsprechungen sowohl für das habituelle als auch für das kognitive Lernen gefunden worden. Die Aussagen der behavioristischen und der kognitionspsychologischen Lerntheorien scheinen so tatsächlich als Erklärungssysteme für verschiedene Arten des Lernens gleichberechtigt nebeneinander zu stehen. Ein differenziertes Überdenken des kognitionspsychologischen Standpunktes führt jedoch zu einem anderen Schluss. Ein Hauptpfeiler dieser Theorie, die Idee nämlich, dass das Denken und nicht die Sinneseindrücke die Hauptquelle des Wissens sei, verliert durch die Resultate der biologischen Hirnforschung seine Stützkraft. Die oben vorgestellten Forschungsergebnisse zeigen nämlich auf, dass sich ererbte Strukturen wie die Grundverschaltung des Gehirns erst dann entfalten können, wenn sie vorgängig wiederholt durch Sinnessignale gespeist wurden. Damit wird wiederum die ontogenetische Ausbildung des kognitiven Gedächtnisses auf empirischem Weg mit der Reiz-Reaktions-Theorie erklärbar. Die Konsequenz aus dieser Folgerung wäre demnach, dass der Geist entsprechend der empiristischen Ansicht tatsächlich keine mysteriösen Züge aufwiese, und die reduktionistische These, wonach komplexe Vorstellungen auf einfache Vorstellungen zurückgeführt werden könnten, gewänne somit an Gewicht in der Erklärung der kognitiven Phänomene. Dies bleibt indes bis auf weiteres eine Vermutung, deren Beweis der weiteren Entschlüsselung von entsprechenden neuronalen Prozessen bedarf.

3.3.4 Hirnmodell und Wissen

3.3.4.1 Hirnmodell

Die vorgängig zusammengefassten Theorien und Forschungsergebnisse lassen gewiss noch keine definitiven Schlüsse betreffend die Beschaffenheit und das Funktionieren des Gehirns zu, jedoch dürfte genügend Material vorhanden sein, um ein einfaches Modell des Gehirns als Hort des Wissens zu erstellen. Entsprechend den Erfahrungen aus Kapitel 3.3.3 ist es von Vorteil, wenn sich ein solches Modell an den Ergebnissen der empirischen Lerntheorien orientiert. Deshalb muss stets ein Objekt der Aussenwelt, das dem wahrnehmenden Organismus gegenüber steht, als letzte Urquelle der Lernprozesse und damit auch des Wissens vorausgesetzt werden.

Ein Objekt der Aussenwelt kann bekanntlich über die Sinnesorgane eines Organismus erfasst und in dessen Gehirn zu einer inneren Repräsentation als Gedächtnisspur verarbeitet werden. Als Mittler zwischen Objekt und Organismus funktionieren demnach die Sinne, die über Nervenzellen Signale der Aussenwelt an das Gehirn übermitteln. Die Objekterkennung kann indessen nicht allein mit dem Dauerbeschuss der Sinne durch Reize der Aussenwelt und die anschliessende Übermittlung der Signale an das Gehirn erklärt werden. Die so auszuwertenden Daten sind nämlich strukturlos und machen von vornherein keinen Sinn. Es stellt sich also die Frage, wie ein Objekt aus einer derartigen Fülle unstrukturierter Elemente entdeckt werden kann. Nach Wolf Singer geschieht dies dadurch, dass das Objekt auf eine vom Gehirn erkennbare Weise von seiner Umgebung unterschieden wird:

“Objekte lassen sich nur als solche erkennen, weil ihre Eigenschaften es erlauben, sie als Einheiten von anderen abzugrenzen. Eine Basisoperation, die am Anfang aller Mustererkennungsprozesse steht, ist, das zu identifizierende Objekt von den umgebenden, nicht zu ihm gehörenden Konturen abzugrenzen.” [Singer 1990, S. 61 f.]

In diesem Sinne sind beispielsweise Farbe, Textur, Helligkeit und Kontur mögliche Eigenschaften, die bei optischer Erfassung ein Objekt von seiner Umgebung unterscheiden lassen. Aber auch die anderen Sinne liefern Kriterien zur Objektbegrenzung. So können Tonhöhe oder Klangfarbe bei akustischer Erfassung oder die Art der Oberflächenbeschaffung bei Erfassung des Objektes durch den Tastsinn entsprechende Unterscheidungsmerkmale anbieten.

Diesen Gedanken folgend könnte eine verknüpfte Aufzeichnung solcher Unterscheidungsmerkmale die Grundlage zur Bildung einer Gedächtnisspur ausmachen. Weil die einzelnen Merkmale normalerweise in verschiedenen Hirnregionen verarbeitet werden, stellt sich die Frage, wie sich die Einzeleindrücke zu einem Ensemble verbinden. Dieses sogenannte Bindungsproblem verschärft sich gemäss Andreas K. Engel, Peter König und Wolf Singer dadurch, dass unter natürlichen Bedingungen ein Objekt niemals isoliert im Gesichtsfeld erscheint (vgl. [Engel/König/Singer 1993, S. 42]). Eine mögliche Erklärung hierzu bietet das im selben Forschungsbericht postulierte Zeitmodell an, wonach räumlich verteilte Neuronen durch Synchronisation ihrer Entladungen zu Ensembles zusammengefasst werden. Die Repräsentation eines Objekts der Aussenwelt im Gehirn und damit auch die Bildung einer Gedächtnisspur geschieht danach über die Gleichzeitigkeit neuronaler Entladung.

Weil gemäss dem Zeitmodell die Simultaneität das einzige Kriterium des Bindungsproblems darstellt, können in einer Lernphase nicht nur Teilelemente zusammengefügt werden, die ohnehin eine Sinneseinheit ergeben, sondern das Gedächtnis vermag auch Assoziationen zu ganz anders gearteten Gedächtnisinhalten zu bilden, sofern diese im selben Moment aktiviert sind. Damit könnte mitunter die Phantasietätigkeit oder die nichtfaktengerechte Verknüpfung von Tatsachen erklärt werden. Offenbar erfolgt diese Gedächtnisbildung durch molekulare Veränderungen an bestimmten Stellen eines neuronalen Verbundes, was sich in einer Änderung des synaptischen Ionenflusses ausdrückt (vgl. [Alkon 1990 b, S. 84]). Diese Veränderungen geschehen laut gewissen Äusserungen in [Alkon 1990 a, S. 81] und [Crick 1990, S. 178 f.] schrittweise und lassen sich offenbar nicht durch zwei ausgezeichnete Zustände beschreiben. Eine derart gebildete Repräsentation ist darum keineswegs für immer fixiert, sondern sie ist eher als Prototyp zu betrachten, welcher stets an seine gleichzeitig aus der Realität wahrgenommene Entsprechung angeglichen werden kann.

Anatomisch gesehen wird eine solche Lernphase in Hippocampus und Amygdala lokalisiert (vgl. Kapitel 3.3.3.2). Die kognitiven Funktionen wie Planen und Überlegen, die den Menschen nach gängiger Auffassung gegenüber den Tieren auszeichnen, finden indessen gemäss Valentin Braitenberg und Almut Schütz in der Grosshirnrinde (Cortex cerebri) statt, die den grössten Teil des menschlichen Gehirns bedeckt. Der Grund dafür muss in der enorm starken und raffinierten Verkabelung dieses Gehirnteils gesucht werden. Unterhalb des Cortex liegt nämlich das Hemisphärenmark, das vorwiegend aus Fasern besteht, welche die Zellen der Grosshirnrinde verbinden. Diese sogenannten cortico-corticalen Verbindungen machen die nachbarschaftlichen Beziehungen der Zellen in der Hirnrinde, die bei der Verarbeitung der wahrgenommenen Reize bekanntlich eine grosse Rolle spielen, praktisch zunichte. Damit ist die wechselseitige Verbindungswahrscheinlichkeit zweier Hirnzellen nicht mehr in erster Linie von ihrem physischen Abstand, sondern von der Gleichzeitigkeit ihrer Aktivierung abhängig (vgl. [Braitenberg/Schütz 1990, S. 184]). Es liegt auf der Hand, dass dieses Forschungsergebnis und die zu erwartenden Resultate entsprechender zukünftiger Forschung die überaus hohe Flexibilität des menschlichen assoziativen Gedächtnisses dereinst erklären könnten.

Es gibt keine zwingenden Entsprechungen zwischen den einzelnen an einer Gedächtnisspur teilhabenden Neuronenverbindungen und den durch sie repräsentierten Bestandteilen der Merkmalskette eines erfassten Objekts. Obschon augenscheinlich die einzelnen Hirnregionen auf die Erfassung bestimmter Wahrnehmungsmerkmale spezialisiert sind, scheint es nicht zum voraus bestimmt zu sein, welche Nervenzelle aufgrund welchen Wahrnehmungsdatums aktiviert wird. Trotzdem ist eine interessante Gemeinsamkeit zwischen beiden Fällen auszumachen. Hier wie dort wird nämlich stets ein grösseres Ganzes durch die Verknüpfung von Dingen zusammengefügt, die ihrerseits je zwei Dinge miteinander in Beziehung setzen. Auf der einen Seite setzt sich bekanntlich die Gedächtnisspur aus Neuronenverbindungen⁽³⁵⁾ den

⁽³⁵⁾ Häufig wird die Synapse als Repräsentant für die dazugehörige Nervenverbindung betrachtet, weil sie einen Axonast der Vorgängerzelle mit einem Dendrit der Folgezelle verbindet.

mutmasslichen Speichereinheiten des Gehirns, zusammen. Damit kann der Elementarteil einer Spur auch als Relation zwischen zwei Nervenzellen betrachtet werden. Auf der anderen Seite wird das Objekt der Aussenwelt durch die Sinne als Kette von Unterscheidungsmerkmalen zu dessen Umgebung erfasst. Ein Unterscheidungsmerkmal zeichnet sich aber dadurch aus, dass es einen bestimmten, durch die Art des Merkmals charakterisierten Unterschied des wahrgenommenen Objekts zu dessen unmittelbarer Umgebung kennzeichnet. Damit kann desgleichen das Unterscheidungsmerkmal als Relation des Objekts zu seiner direkten Nachbarschaft interpretiert werden. Wenn also der Lernprozess von diesem Blickwinkel her betrachtet wird, so kann man ihn auch als Vorgang auslegen, in dem gleichsam Relationen auf Relationen abgebildet werden, oder wie Günther Palm schlagwortartig sagt: "Korrelationen in der Aussenwelt werden zu Verbindungen zwischen Neuronen." [Palm 1990, S. 168]

Unter der Voraussetzung, dass diese Vermutung für richtig gehalten wird, lassen sich das Wahrnehmen und das Verstehen als Produkt synchroner Nervenaktivität auffassen. Stellvertretend für andere Exponenten der Hirnbiologie schliesst Semir M. Zeki daraus, dass die von uns wahrgenommene Welt eine Konstruktion unseres Gehirns sei (vgl. [Zeki 1992, S. 54]). Ein strukturelles Konzept der sogenannten Aussenwelt, aber auch des Wissens, der Sprache u. a. m. muss demnach die neuronale Struktur des Gehirns widerspiegeln. Diese Struktur besteht laut Günther Palm einerseits aus Nervenzellen als Hauptkomponenten des Gehirns und andererseits aus wechselseitigen, durch die Synapsen repräsentierten Verbindungen dieser Nervenzellen, den mutmasslichen Speichereinheiten des Gehirns. Die Hirnstruktur kann demnach konzeptionell auf zwei Typen von Elementen zurückgeführt werden, nämlich auf sogenannte Grundelemente, die den Neuronen entsprechen, und auf Beziehungselemente, die ihr Korrelat in den Nervenverbindungen besitzen. Die Vorzugsrichtung der Beziehungselemente steht dabei von vornherein fest, da die neuronale Verbindung in der Regel vom Axonast der präsynaptischen hin zum Dendrit der postsynaptischen Nervenzelle gerichtet ist, und zwar unabhängig von der Art und der hirntypischen Lage der beteiligten Nervenzellen. Die ursprünglich richtungsneutralen Daten einer erfassten Szene werden somit durch den neuronalen Perzeptionsprozess gerichtet, der verantwortlich ist für die Aufzeichnung der registrierten Daten von den Sensoren bis hin zum Schläfenlappen.

Dieses Ergebnis zeigt evidente Parallelen zu den Folgerungen aus Kapitel 3.1. Der Zustand einer Nervenzelle, der sich in der chemischen Zusammensetzung des Zellinneren niederschlägt, wird nämlich dadurch aufgebaut, dass elektrochemische Signale anderer Zellen über die Dendriten eindringen. Aus diesem Grunde können die Beziehungen, die eine Nervenzelle über die Dendriten mit anderen Nervenzellen eingeht, als $r_{\text{syntaktische}}$ Beziehungen interpretiert werden, denn die durch die postsynaptischen Kanalproteine strömenden Ionen bestimmen letztlich deren inneren Zustand. Auf der anderen Seite ist es die Hauptaufgabe des Axons, Signale der Nervenzelle an andere Zellen abzugeben. Die Äste eines Axons stehen demnach für die $r_{\text{semantische}}$ Beziehungen einer Nervenzelle. Wenn schliesslich die Synapsen als Repräsentanten der Beziehungen von je zwei miteinander verbundenen Nervenzellen betrachtet werden, findet auch die wichtigste Hypothese von Kapitel 3.1, nämlich die Vermutung, dass eine Beziehung je nach Standpunkt $r_{\text{syntaktisch}}$ oder $r_{\text{semantisch}}$ sein kann, seine Wiedergabe im aktuellen Hirnmodell. Nach dieser Fassung würde die Synapse für eine $r_{\text{semantische}}$ Beziehung stehen, wenn sie als Repräsentant für den Zustand des Axons der ihr vorgeschalteten Nervenzelle betrachtet wird. Vertritt dieselbe Synapse indes die Wirkung des am postsynaptischen Dendrit empfangenen Signals, so steht sie für eine $r_{\text{syntaktische}}$ Beziehung.

3.3.4.2 Gehirn und Computer

Die bis anhin ermittelten Resultate von Kapitel 3.3 liefern insgesamt ein mechanistisches Bild des Gehirns, weshalb sich die Frage nach Ähnlichkeiten zwischen dem Gehirn und den heute üblichen Computern aufdrängt. Braitenberg und Schütz erkennen im wesentlichen an zwei Punkten Entsprechungen des Cortex mit Eigenschaften von Rechnern:

- Gleichförmigkeit der mutmasslichen Speicherelemente: Im Cortex verbinden die meisten Synapsen Nervenzellen derselben Art, so dass das Funktionsgeheimnis eher in der Gleichförmigkeit denn in der Komplexität zu suchen ist.
- Grosse Speicherkapazität: Verglichen mit den Apparaten, aus denen die Grosshirnrinde ihre Daten zieht und denen sie Daten abgibt, ist sie sehr gross, woraus zu schliessen wäre, dass der Cortex die Daten eher speichert als sie weitergibt.

Trotz dieser Zusammenstellung darf ein Vergleich zwischen Computer und Gehirn nur mit grosser Vorsicht gewagt werden. Francis H. C. Crick führt in [Crick 1990] einige Gründe auf, weshalb ein entsprechender Vergleich in mancher Hinsicht hinkt:

- Geschwindigkeit und Sequenz der Signalverarbeitung: Ein Computer verarbeitet die ankommenden Signale nacheinander und in grosser Geschwindigkeit, während das Gehirn die Informationsflut viel langsamer, dafür in unzähligen Kanälen parallel bewältigt.
- Zuverlässigkeit: Im Gegensatz zu den Nervenzellen des Gehirns funktionieren die Teile moderner Computer zuverlässig. Entfernt man aber davon einen, so kann dies die Maschine nutzlos machen, während der Ausfall selbst von mehreren Nervenzellen die Funktionstüchtigkeit des Gehirns nicht stark beeinträchtigen muss. Das Gehirn speichert die Informationen offensichtlich in dezentralisierter Weise, so dass man einen Teil davon entfernen könne, ohne dass dadurch ein wesentlicher Verlust an Information entstehe.
- Flexibilität im Nachrichtenverständnis: Ein Computer versteht nur Nachrichten, die in einem binären Code verschlüsselt sind, während das Gehirn offenbar auch weniger präzise Signale nachvollziehen kann. Zudem hat das Gehirn vermutlich die Fähigkeit, den Wirkungsgrad der Synapsen in komplexen Schritten derart zu verändern, dass es aus Erfahrung lernt (vgl. [Crick 1990, S. 178 f.]).

Die genannten Unterschiede finden ihren Niederschlag in der Tatsache, dass ein Computer zwar die meisten berechenbaren Probleme viel schneller bewältigen kann als das menschliche Gehirn. In vielen Bereichen der Mustererkennung, besonders in der Wahrnehmungsinvarianz der Objekterkennung⁽³⁶⁾, ist der Computer jedoch selbst dem Gehirn von einfachen Tieren bei weitem unterlegen. Gerald D. Fischbach begründet diesen Unterschied mit dem Argument, dass das Gehirn, anders als der Computer, nicht für wohlüberlegte Zwecke entworfen worden sei, sondern ein Produkt der natürlichen Auslese darstelle. Der Aufbau des menschlichen Gehirns gleicht somit weniger einem modernen Computer mit seiner exakten Verdrahtung als vielmehr einem Netzwerk von diffusen, durch Aktivität veränderlichen Verbindungen, in denen die gewonnene Erfahrung als Wissen um etwas untergebracht ist. Das Neuronennetz weist zwar erwiesenermassen eine genetisch vorgegebene Grundverschaltung auf, welche mitunter gewisse Antwortigenschaften einzelner Nervenzellen festlegt. Die effektiv genutzten Assoziationen werden aber vorwiegend über die Interaktion mit der Umwelt determiniert, gesteuert durch den jeweiligen Zustand, in dem sich das Gehirn im entsprechenden Zeitpunkt befindet.

3.3.4.3 Eine mögliche Struktur des Wissens

Eine weiter oben vorgestellte, für die vorliegende Arbeit massgebliche Hypothese behauptet, dass die von einem Organismus wahrgenommene Welt eine Konstruktion dessen Gehirns sei. Unter Berücksichtigung der Richtigkeit dieser Behauptung muss eine mögliche Struktur des Wissens mit der neuronalen Struktur des Gehirns in Einklang stehen, denn das Wissen als Gegenstand einer theoretischen Untersuchung ist Bestandteil derselben vom Gehirn konstruierten Welt. Die konzeptionelle Hirnstruktur setzt sich bekanntlich aus Elementen zusammen, die in zwei Klassen eingeteilt werden können, nämlich in die Klasse der Nervenzellen als Grundelemente und in die Klasse der Nervenverbindungen, den mutmasslichen Speicherelementen des Gehirns. Des weiteren muss berücksichtigt werden, dass die Nervenverbindungen gerichtete Relationen darstellen, weil die Synapsen als Repräsentanten der Nervenverbindungen die Signale meistens in einer Vorzugsrichtung durchschalten. Da diese Signaldurchschaltung nie mit Sicherheit geschehen wird, ihr Auftreten jedoch der Statistik gehorcht, muss den Nervenverbindungen zusätzlich eine Durchschaltewahrscheinlichkeit zugeordnet werden.

Ein Modell des Wissens eines Organismus O besteht demnach in erster Annäherung aus einer Menge W_O , die in die Klasse WE_O der Wissens-elemente und in die Klasse WB_O der Wissensbeziehungen (mit $WE_O \cup WB_O = W_O$) unterteilt werden kann. Die Wissens-elemente $w \in WE_O$ stehen als Grundelemente für Dinge, die als Ganzheiten betrachtet werden sollen wie etwa die Gegenstände der Aussenwelt oder die

⁽³⁶⁾ Mit Wahrnehmungsinvarianz der Objekterkennung benennen die Psychologen das Phänomen, dass ein Objekt vom menschlichen Gehirn auch dann als ein und dasselbe identifiziert wird, wenn es sich wegen unterschiedlicher Entfernung, verschiedener Orientierung und herrschender Beleuchtung ungleich auf der Netzhaut der Augen abbildet (vgl. [Delius 1990, S. 106]).

Sätze einer Sprache. Demgegenüber setzen die Wissensbeziehungen $b(w_1, w_2, p) \in WB_O$ wechselseitig je zwei Wissenselemente $w_1, w_2 \in WE_O$ mit dem Wahrscheinlichkeit p in Beziehung. Eine Wissensbeziehung $b(w_1, w_2, p) \in WB_O$ ist stets gerichtet von w_1 hin zu w_2 .

Die Menge W_O umfasst somit alle Elemente, die in irgendeiner Form Bestandteil des Wissens von einem beliebigen Organismus O sein können. Mit den derart konstruierten Wissenselementen lässt sich darüber hinaus das Gedankenexperiment einer Äquivalenzbildung zwischen dem eben besprochenen Wissensmodell und der neuronalen Struktur des Gehirns durchspielen, woraus indes nicht geschlossen werden darf, dass es auch tatsächlich eine bijektive Abbildungsvorschrift von der Menge W_O in die neuronale Struktur eines Organismus gibt. In einem solchen Gedankenexperiment könnte etwa ein Wissenselement $w \in WE_O$ als Entsprechung einer Nervenzelle und eine Wissensbeziehung $b(w_1, w_2, p) \in WB_O$ als Entsprechung einer Synapse betrachtet werden, wobei w_1 einen Verweis zur präsynaptischen und w_2 einen Verweis zur postsynaptischen Zelle markierte. Schliesslich stellt p ein Mass für die Durchschaltwahrscheinlichkeit der Synapse dar. Die Wissensbeziehung $b(w_1, w_2, p)$ lässt sich aus diesem Grunde auch als $r_{\text{semantisch}}$ bezüglich w_1 und als $r_{\text{syntaktisch}}$ bezüglich w_2 interpretieren. In Anlehnung an die netzwerkartige Verschaltung des Gehirns muss demnach das Wissen eines Organismus als ein Gebilde verstanden werden, dessen Grundelemente durch die Wissensbeziehungen netzwerkartig miteinander verbunden sind.

In einem Punkt scheint die Struktur des Wissensmodells allerdings von der konzeptionellen Hirnstruktur abzuweichen. Während Nervenzellen und Nervenverbindungen stets etwas Unterschiedliches im Gehirn verkörpern, können Wissenselemente und Wissensbeziehungen nicht in jedem Fall problemlos auseinandergelassen werden. Wenn nämlich nicht nur die Wissenselemente, sondern auch die Wissensbeziehungen auf ihren strukturellen Aufbau hin untersucht werden, was in der durchaus legitimen wissenschaftlichen, aber auch in der alltäglich menschlichen Neugier begründet sein kann, gerät unversehens eine Wissensbeziehung in die Rolle des Wissenselementes, die ihrerseits mit anderen Wissenselementen Beziehungen eingehen kann. Dies wiederum implizierte, dass die Schnittmenge $WE_O \cap WB_O$ nicht leer ist, was jedoch im Widerspruch zum Ergebnis des weiter oben durchgeprobten Gedankenexperimentes steht, wonach WE_O der Menge aller Nervenzellen und WB_O der Menge aller Nervenverbindungen entsprechen soll, woraus logischerweise eine leere Schnittmenge resultieren sollte. Die genaue Analyse dieses Sachverhaltes zeigt aber, dass die Ursache des Problems in der impliziten Gleichsetzung zweier grundsätzlich verschiedener Fakten zu suchen ist. Die Angaben über den strukturellen Aufbau einer Wissensbeziehung werden nämlich im Gehirn eines Organismus mit Sicherheit an einem anderen Ort repräsentiert als die Wissensbeziehung selber. Folglich wird es im Falle der Analyse einer Wissensbeziehung mindestens eine Nervenzelle geben, die sie vertritt und so die Abspeicherung von weiteren, die Wissensbeziehung betreffenden Angaben ermöglicht. Somit bildet die Wissensbeziehung als physisch festgesetzte Nervenverbindung einerseits mit der zu ihrer Analyse erstellten Repräsentation andererseits nur konzeptionell, nicht aber real eine Einheit.

Das eben diskutierte einfache Modell der Elementarteile einer mutmasslichen Wissensstruktur zeichnet sich aus durch seine hohe Flexibilität. Es ist einerseits in der Lage, die Wissensstruktur abzubilden, die sich am neuronalen Modell des Gehirns orientiert, und andererseits lässt sich damit das psychologische Lernmodell aus Figur 5 wiedergeben. Die Gedächtnisspur, die dabei als zeitlich gerichtete Verknüpfung erlebter elementarer Ereignisse gebildet wird, kann so als alternierende Folge von Grundelementen und Wissensbeziehungen verstanden werden. Darüber hinaus können Luc Ciompis Affektlogik und somit wichtige Aspekte des Pragmatikbegriffs aus Kapitel 3.1.3 in diesem Wissensmodell problemlos abgebildet werden. Weil das qualifizierende Fühlsystem eines Organismus Bestandteil desselben Gehirns ist wie dessen quantifizierend-abstrahierendes Denksystem und überdies dieselbe Art von Nervenzellen für das Funktionieren beider Systeme verantwortlich ist, kann diese 'Wissenskategorie' ohne konzeptionelle Änderungen in das weiter oben entworfene Wissensmodell einbezogen werden. Damit findet eine allfällige, vom Fühlsystem verliehene affektive Färbung der kognitiv-sensorischen Stimuli ihr Korrelat im hier gezeichneten Wissensmodell.

Die Flexibilität des Modells zeigt sich auch darin, dass Aspekte der Hirnmodelle, die noch nicht schlüssig bestimmt wurden, unabhängig von der ausstehenden Antwort modelliert werden können. Die Frage von Gerald D. Fischbach etwa nach der Anzahl Neuronen, die ihre Impulsrate verändern müssen, damit ein-

zelne Wahrnehmungskomponenten als zu einer Gestalt zusammengehörend erkannt werden, wird heute noch verschieden beantwortet. Dem extremsten Standpunkt zufolge gibt es nur eine finale Nervenzelle für jede Gestalt. Nach neueren Befunden wird indessen zusammenhängendes Wissen dezentralisiert abgespeichert, wobei die Zellen auf Gestalten mit ähnlichen Merkmalen reagierten und nicht auf einzelne bestimmte Gestalten. Die Zusammengehörigkeit dieses Wissenskomplexes, würde hierbei gemäss Hanna und Antonio R. Damasio aufgrund von gesonderten Aufzeichnungen in einer eigenen Gehirnzone gewährleistet. Weil sich indes beide Erklärungsversuche am gleichen neuronalen Modell des Gehirns orientieren, können sie naturgemäss mit derselben Art von Elementen aus W_O nachgezeichnet werden.

Nicht immer ist kognitives Wissen direkt mit Objekten der Aussenwelt assoziiert, denn vielfach ist der Gegenstand des Wissens abstrakter Natur. Diese Art von Wissen hat ihre Ursache in der Verknüpfung von Nervenzellen aus Hirnregionen, die schaltungstechnisch weit weg von den Sinnesorganen lokalisiert sind. Nach Fischbach reagieren nämlich die Nervenzellen auf immer abstraktere Aspekte komplexer Reize, je mehr Synapsen zwischen ihnen und dem ursprünglichen Reizort liegen. Wegen der enormen Flexibilität der Nervenzellen gerade in diesen Bereichen können sie dort beinahe beliebige Verbindungen eingehen. Deshalb wird in diesen Regionen die Möglichkeit von irrtümlichen oder bewusst falschen Assoziationen von Wissensaspekten grösser. Auf diese Weise kann das nicht faktengerechte, vermeintliche Wissen ebenfalls in die Menge W_O einbezogen werden, weil damit das 'falsche' Wissen und das 'falsche' Schliessen im neurobiologischen Hirnmodell sein Gegenstück findet.

Die soeben aufgestellte Hypothese verträgt sich gut mit der Beobachtung Quines, wonach die Möglichkeit einer Falschanwendung der gelernten Terme mit jeder Abstraktionsphase grösser wird. Im Gegensatz zu Quines Überzeugung, dass der Ursprung dieses Phänomens in der tierischen Irrationalität unseres Ähnlichkeitsgefühls liege, wird hier die potentielle Falschanwendung von Termen als logisches Nebenprodukt hochintelligenten Verhaltens postuliert. Die mathematische Logik auf der anderen Seite, welcher Quine den höchsten wissenschaftlichen Wert beimisst, ist dagegen eher mit dem einfachen Durchschalten aufeinanderfolgender Synapsen zu vergleichen.

3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Ziel von Kapitel 3 war es, Begriffe, die in den überlieferten Informationstheorien kontrovers oder lückenhaft diskutiert wurden, zu analysieren und in einen konzeptionellen Rahmen einzuordnen. In Anbetracht der Wichtigkeit der entsprechenden Ergebnisse für eine nachmalige Bestimmung des Informationsbegriffes seien hier die wichtigsten Punkte noch einmal aufgeführt.

Den Anfang der Untersuchungen bildete der Zeichenbegriff der Semiotik, wie er von Charles W. Morris definiert wurde. Dieser ist dank seiner weit gefassten Bestimmung in vielen Bereichen anwendbar, denn der Morrissche Zeichenbegriff schliesst nicht nur Buchstaben oder Hieroglyphen ein, sondern auch ganze Wörter oder Sätze, ja sogar Gerüche, Geräusche oder Verhaltensmuster, kurz gesagt alles, was sich auf irgendeine Weise über die Sinne eines Organismus erfassen lässt. Das Zeichen besitzt nach semiotischer Lesart die drei Dimensionen Syntax, Semantik und Pragmatik, die sich in der Art der Beziehung manifestieren, die ein Zeichen mit anderen Entitäten verbindet. Dergestalt sind die Beziehungen zwischen zwei Zeichen die syntaktischen, jene zwischen einem Zeichen und einem Objekt die semantischen und schliesslich jene zwischen Zeichen und Interpretierer die pragmatischen Beziehungen. Nach Morris bildet ein Zeichen zusammen mit dem dadurch bezeichneten Objekt und dem auswertenden Interpretierer einen notwendigen Bestandteil der sogenannten Semiose, einer Reiz-Reaktions-Disposition im behavioristischen Sinne.

Der Morrissche Zeichenbegriff lässt sich für die Erklärung von vielen Aspekten der Information anwenden, wie Doede Nauta jr. in [Nauta 1970] auf überzeugende Art darstellte. Gewisse Fragestellungen der Informationstheorien können jedoch mit den ursprünglichen Begriffsbestimmungen der Semiotik nicht beantwortet werden. So kann die sogenannte unadressierte Information nur mit äusserst problematischen Umdeutungen von Dispositionen, wie etwa der Interpretation der inneren Repräsentation eines Objekts im

Subjekt als Zeichen, ins semiotische Lehrgebäude einbezogen werden. Damit hat man zwar die Struktur der Semiose gerettet, verletzt aber andererseits ein empirisches Grundgesetz, wonach alle Reize von aussen kommen. Um solche Unzulänglichkeiten zu umgehen, wurde vorgeschlagen, dass dasselbe Ding entgegen den Vorgaben von Morris in einer Semiose mehrere Rollen spielen könnte. Auf diese Weise fand man zwar eine Lösung für die oben genannten Probleme, gleichzeitig entstanden aber neue Schwierigkeiten. Die Begriffe Syntax, Semantik und Pragmatik, die in der Semiotik einzig wegen der klaren Rollenzuteilung der durch sie referenzierten Dinge in der Semiose gegeneinander abgegrenzt werden konnten, verloren damit ihr klares Unterscheidungsmerkmal. In der neuen Situation war es nämlich möglich, dieselbe Beziehung sowohl syntaktisch als auch semantisch zu nennen, weil dasselbe Ding in derselben Semiose sowohl die Rolle des Zeichens als auch die Rolle des Objekts spielen konnte.

In diesem Dilemma bot sich die Richtung einer Beziehung als neues Charakteristikum an zur Unterscheidung von Syntax und Semantik. Ein Leitgedanke dieser Idee war, dass Beziehungen, die die Syntax eines Dinges, das heisst deren Aufbau beschreiben, stets zum Ding hin gerichtet seien. Auf der anderen Seite wurde erkannt, dass eine semantische Beziehung eines Dings in seiner Rolle als Zeichen eine Referenz hin zu einem anderen Ding zieht, also vom Zeichen weg gerichtet ist. Diesen Gedanken folgend wurde postuliert, alle zum Ding hin gerichteten Beziehungen seiner Syntax und umgekehrt die vom Ding weg gerichteten Beziehungen seiner Semantik zuzuordnen. Weil aber mit dieser Setzung vom bisherigen Usus der Begriffe Syntax und Semantik stark abgewichen wurde, musste die Verwendung neuer Termini diskutiert werden. In diesem Sinne nannten wir die Beziehung $r_{\text{syntaktisch}}$ (respektive $r_{\text{semantisch}}$), wenn sie allein aufgrund der Richtung der Syntax (respektive der Semantik) zugerechnet wurde.

Da eine Beziehung nur auf zwei Arten gerichtet sein kann, entstand folgerichtig ein neues Problem beim Versuch, die dritte semiotische Dimension, die Pragmatik, in diesem alternativen Konzept von Syntax und Semantik zu positionieren. Eine mögliche Lösung dieser Schwierigkeit wurde in der Erkenntnis gefunden, dass die Handlungsaufforderung an das Subjekt als Hauptmerkmal einer semiotisch-pragmatischen Beziehung gar nicht vom Ding als Zeichen ausgeht, sondern vom Subjekt als Interpretierer selber initiiert wird. In diesem Sinne ist das pragmatische Moment eines Dings an der stets individuellen Art festzustellen, wie das Subjekt ein Ding erkennt und ihm nach Massgabe des Aprioriwissens und des situativen Kontextes eine eigene Bedeutung beimisst. Diese Interpretationsvariabilität reicht mithin von der klaren Erkennung des Dings durch das Subjekt bis hin zu dessen irrtümlicher Fehlbestimmung, in Abhängigkeit von der Anzahl und der Qualität der erfassten Beziehungen, sowie von deren Korrelation mit den entsprechenden, im Gehirn des Subjekts repräsentierten Relationen. Anstelle der Frage nach pragmatischen Beziehungen stellt sich daher vielmehr die Frage nach der Unterteilung der das Ding umfassenden Beziehungshülle in jene Beziehungen, die für die adäquate Erkennung des Dings in einer Situation notwendig sind, und in jene, die in der derselben Situation für die reine Dingerkennung entbehrlich sind.

Auf diese Weise gelang es, eine Theorie der kommunikativen Beziehungen vom semiotischen Joch der kontextfrei disjunkten Einteilung von Beziehungen in syntaktische, semantische und pragmatische zu befreien. Die neue Unterteilung der Beziehungen ist vielmehr auf das analysierte Ding bezogen, wobei die einzelne Beziehung je nach Standpunkt einmal als $r_{\text{syntaktisch}}$ und ein anderes Mal als $r_{\text{semantisch}}$, nie aber als beides gleichzeitig gelten kann. Die Struktur des Dings lässt sich folglich entsprechend dem Modell in Figur 4 darstellen. Die Beziehungshülle, die ein Ding umgibt, kann sodann nach zwei Kriterien je dichotom unterteilt werden: Das Kriterium der Beziehungsrichtung teilt das Beziehungsbündel in die $r_{\text{syntaktische}}$ und die $r_{\text{semantische}}$ Hülle und das Kriterium der Erkennungsnotwendigkeit respektive -entbehrlichkeit zum Zeitpunkt der Wahrnehmung in eine essentielle und eine akzidentielle Hülle.

Die eben dargestellte Setzung, die als eine der wichtigsten Thesen dieser Arbeit betrachtet werden kann, basierte bis dato auf schwachen Fundamenten, und es war das Ziel von Kapitel 3.2, Hinweise zu finden, die diese Gedanken in einen erweiterten theoretischen Kontext, besonders der modernen Semantiktheorien, einbinden liessen. Dazu wurden Werke von Willard van Orman Quine sowie von Jon Barwise und John Perry konsultiert, in welchen wichtige Beiträge zur Bestimmung des modernen Semantikbegriffs geleistet wurden.

Quine beginnt seine Theorie der Semantik mit der Herleitung des Begriffs der sprachlichen Reizbedeutung. Dabei wird die Semantik als verhaltensbezogenes Problem dargestellt, das einzig am behavioristischen

Modell von Reiz und Reaktion verstanden werden kann. Danach gibt es keine Bedeutung apriori, sondern die 'Bedeutung' einer Aussage wird als normative Form sprachlichen Verhaltens betrachtet, die durch gegenseitige Anpassung der Mitglieder einer Sprachgemeinschaft entstanden ist. Die Reizbedeutung muss sodann als Referenz verstanden werden, die ein Individuum zu einem bestimmten Zeitpunkt als Reaktion auf einen zeitlich terminierten sprachlichen Reiz hin zum dadurch gemeinten Gegenstand zieht. Im Unterschied zur Semiotik fragt Quine in seinen semantischen Überlegungen nicht bloss nach der Bedeutung eines einzelnen Äusserungsereignisses, sondern nach der Variabilität der Reizbedeutung von Wörtern, Aussagen und Sätzen über verschiedene Äusserungsereignisse hinweg. Die dabei von Quine festgestellte Unbestimmtheit der Reizbedeutung eines Grossteils der Sätze läuft seinem Bestreben zuwider, Kriterien für die Formulierung naturwissenschaftlicher Theorien zu ermitteln, die auf Aussagen mit konstanten Wahrheitswerten beruhen und sich deshalb in der sogenannten kanonischen Notation wiedergeben lassen (vgl. [Quine 1980, S. 275 ff.]). Er reduziert deshalb den Bereich an wissenschaftlich akzeptierten Sätzen auf die 'Beobachtungssätze' und die 'zeitlosen Sätze', deren Reizbedeutung über die Zeit hinweg unveränderlich bleiben, während die übrigen Sätze als unerforschlich hinsichtlich ihrer Reizbedeutung abgestempelt werden.

Eine solche Einschränkung mag zwar aus formallogischer Sicht überzeugend klingen, aus informationstheoretischen Überlegungen kann sie indessen nicht akzeptiert werden. Eine umfassende Informationstheorie muss nämlich auch den Informationsgehalt von unpräzisen Aussagen erforschen können. Es stellte sich also als erstes die Frage, welches mathematische Konzept sich für die formale Fassung dieses Problems eignet. Die von Quine favorisierte Prädikatenlogik erster Ordnung mit Identität ist dafür nicht applikabel, denn es ist im Normalfall nicht möglich, die volle Mannigfaltigkeit der Reizbedeutungsvariabilität von Aussagen in der kanonischen Notation wiederzugeben, weil sie selten in ihrer umfassenden Vielfalt bekannt ist. Das Problem der Variabilität der Reizbedeutung weist jedoch gemäss der Argumentation auf Seite 36 f. Ähnlichkeiten auf mit der thermodynamischen Frage nach dem in analoger Weise unbestimmten Nachfolgezustand eines Gases, welches sich in einem abgeschlossenen Behälter befindet. Damit drängt sich der Versuch auf, den von der Thermodynamik angewendeten Lösungsansatz, das Problem mit statistischen Methoden anzugehen, auch im sprachlichen Umfeld einzusetzen. Dadurch würde wiederum Shannons Idee, den thermodynamischen Entropiebegriff auf gewisse Phänomene in der Kommunikationstheorie anzuwenden, sanktioniert und erhielte eine interessante Erweiterung: Im Gegensatz zu Shannons Absicht, die Bedeutung aus der Diskussion um die Kommunikationstheorie auszuschliessen, erwies sich entsprechend dem hier besprochenen Ansatz die Entropie vielmehr als eine Art Mass für den Gehalt an 'Bedeutung' eines Kommunikationselementes (vgl. hierzu Kapitel 4.2 & 4.3).

Quines Lehre stützt sich bei der Beantwortung sämtlicher wissenschaftlicher Fragen auf die Erforschung der Sprache, in der die entsprechende Wissenschaft formuliert wurde, denn für ihn ist jede Theorie untrennbar verknüpft mit der Sprache, in der sie formuliert wurde. Die Informationstheorie liefert indessen Beispiele wie etwa die unadressierte Information, die sich mit Quines Methoden nur ungenügend erklären lassen (vgl. Kapitel 3.2.2). Im Gegensatz dazu kann die Theorie der Situationssemantik von Jon Barwise und John Perry den Forderungen von Kapitel 2 an eine umfassende Informationstheorie in vielen Teilen nachkommen. Das Konzept der Situationen betrachtet neben den Elementen der Sprache auch die realen Konstellationen der Aussenwelt, die Ereignisse und überdies die kognitiven Zustände von Organismen als Objekte derselben Art, nämlich als Situationen. Alle Situationen, also auch die aussersprachlichen, können gemäss Barwise und Perry etwas bedeuten, wobei die einzelne Bedeutung einer systematischen und konstanten Beziehung zwischen zwei Situationen, einer sogenannte Beschränkung, entspricht. Dabei schliessen die beiden Forscher ausdrücklich die Möglichkeit ein, dass eine Bedeutung von verschiedenen Individuen zu verschiedener Zeit mit unterschiedlichem Zugang zur Welt verschieden interpretiert werden kann, ein Effekt, den Barwise und Perry mit 'Effizienz der Bedeutung' benennen. Damit wird die von Quine als wissenschaftsfeindlich verschrieene Variabilität der (Reiz-)Bedeutung von Ausdrücken durch Barwise und Perry der wissenschaftlichen Diskussion zugänglich gemacht. In der Situationstheorie kommt daher dem Begriff der Effizienz eine herausragende Bedeutung zu. Mit ihm wird die Feststellung umschrieben, dass ein Ding von verschiedenen Subjekten in verschiedenen Kontexten und mit unterschiedlichem Aprioriwissen verschiedenartig interpretiert wird. Damit deckt sich die situationstheoretische Bestimmung des Begriffs der Effizienz weitgehend mit der Definition des in Kapitel 3.1 gezeichneten Pragmatikbegriffs.

Die Situationstheorie führt im weiteren einen relativen Wahrheitsbegriff ein, der besagt, dass eine Aussage u mit einer Interpretation P relativ zu einer Situation e wahr sei, wenn e in P liege, womit die Wahrheit nicht

als notwendiges Merkmal, sondern als eine von mehreren möglichen Beschränkungen eines Satzes betrachtet wird. Der Begriff der Beschränkung aus der Theorie der Situationssemantik liefert ausserdem indirekte Argumente zur These, dass sich Syntax und Semantik nur durch die Richtung unterscheiden. Weil jede Beschränkung, die einer Situation S_1 eine andere Situation S_2 als Bedeutung zuordnet, gerichtet ist, und zwar von S_1 nach S_2 , wird diese Beschränkung automatisch zur r _semantischen Beziehung bezüglich S_1 . Da überdies jede Beschränkung nach Meinung von Barwise und Perry stets apriori vorhanden ist (also nicht erst nach ihrer Entdeckung existiert), weist sie auch syntaktische Eigenschaften auf, indem sie mithilfe das Netz, das die Situationen der Welt zusammenhält, aufzubauen. In diesem Sinne leistet die Beschränkung, die als bedeutungsgebende Beziehung von S_1 nach S_2 gerichtet ist, einen konstituierenden Beitrag zu S_2 , weshalb sie von S_2 aus auch als r _syntaktische Beziehung betrachtet werden kann.

Die Situationstheorie von Barwise und Perry verträgt sich somit mit den Thesen, die in Kapitel 3.1 aufgestellt wurden. Darüber hinaus kommt die Theorie den meisten Forderungen aus Kapitel 2 an eine umfassende Informationstheorie nach, denn alle im Forderungskatalog aufgestellten Typen von Entitäten⁽³⁷⁾ werden als gleichberechtigte Objekte derselben Art, als Situationen, betrachtet. Dank der konzeptionellen Gleichbehandlung von zeitgebundenen Dingen (Ereignisse) einerseits und von Dingen, die über einen Zeitpunkt hinweg invariant bleiben (Objekte) andererseits, gelang es der Situationstheorie schliesslich, jene Dinge in einem Begriff zusammenzufassen, die letztlich wegen ihrer angeblichen Verschiedenheit zur Unterscheidung der strukturell-attributiven und der funktionell-kybernetischen Ansichten bezüglich des Informationsbegriffs führten. Weil es überdies möglich ist, ein Ereignis als Situation unabhängig von seiner Wirkung zu untersuchen, kann auch die unadressierte Information in der Situationstheorie nachvollzogen werden.

Eine wichtige Hypothese der Situationstheorie lautet, dass jene Beschränkungen, die für die komplexe Struktur der Realität verantwortlich sind, auch als Bestandteil dieser Realität zu verstehen sind. Diese Behauptung ist indessen nicht vereinbar mit der Annahme der modernen Hirnbiologie, welche besagt, dass die von uns wahrgenommene Welt eine Konstruktion unseres Gehirns sei. Nun erarbeitete aber gerade die Hirnbiologie in jüngster Zeit erfolgversprechende Thesen zur Klärung von Fragen, deren Beantwortung auch im Zusammenhang mit der Bestimmung des Informationsbegriffs gefordert wird, wie etwa jene des Lernens als Vorgang der Wissensgewinnung oder jene der Wissensrepräsentation im Gehirn. Deshalb entstand die Notwendigkeit, im Rahmen der Zusammenstellung verschiedener Lern- und Wissenstheorien in Kapitel 3.3 diese Diskrepanz zu diskutieren.

Die moderne Hirnbiologie geht davon aus, dass die wahrgenommenen Signale der Umwelt im Gehirn schrittweise nach verschiedenen Merkmalen entlang einer neuronalen Bahn verarbeitet und zu einem ganzheitlichen Bild verknüpft werden. Die Art und Weise dieser Verarbeitung wird dabei durch die Struktur der Neuronen geprägt, die über die Dendriten von circa 10^5 anderen Nervenzellen Signale empfangen können und über das Axon ihr zelleigenes Signal an circa 10^5 andere Nervenzellen übermitteln können. Ein Lernvorgang wird deshalb derart verstanden, dass durch biochemische Veränderungen an den Schaltstellen zwischen zwei Nervenzellen die Neigung zur interneuronalen Kommunikation verstärkt wird. Auf diese Weise entsteht ein ganzheitlicher Verbund von mehreren Nervenzellen, der bei einer entsprechenden Reizung immer als Ganzes aktiviert wird. Falls dieser Verbund von Neuronen auch nach längerer Zeit auf denselben Reiz adäquat reagiert, kann diese Struktur als Bestandteil des Wissens des Organismus betrachtet werden. Die Wissensrepräsentation im Gehirn könnte folglich aus einem Netzwerk von wechselseitig durch derartige biochemische Veränderungen verbundenen Nervenzellen bestehen, und das Wissensselement wäre somit gleichzusetzen mit einer Verbindung zwischen zwei Neuronen.

Wenn also Bilder, die auf die oben beschriebene Art zustande kommen, unsere Vorstellung der Aussenwelt ausmachen, so muss die 'reale Welt' konzeptionell dieselbe Struktur aufweisen wie das die Welt konstruierende Gehirn, das bekanntlich aus einem engmaschigen Netzwerk von wechselseitig miteinander verbundenen Nervenzellen besteht. In der Tat deuten einige Aussagen von Naturwissenschaftlern darauf hin, dass diese Vermutung stimmt. Wenn etwa Wolf Singer sagt, dass sich Objekte nur deshalb als solche

⁽³⁷⁾ Darunter fallen die realen Konstellationen, die Elemente der Sprache und deren Äusserungseignisse unabhängig davon, ob sie faktengerecht sind, sowie Ereignisse und kognitive Zustände.

erkennen lassen, weil ihre Eigenschaften es erlauben, sie als Einheiten von anderen Objekten abzugrenzen, so setzt er implizit voraus, dass sich der Erkennungsvorgang eines Objekts nur über dessen Beziehungen zu seiner Umgebung abwickelt. Auch Günther Palms hypothetische Feststellung, wonach Korrelationen in der Aussenwelt zu Verbindungen zwischen Neuronen werden (vgl. [Palm 1990, S. 168]), zielt in dieselbe Richtung. Beide Aussagen werden durch Semir Zekis Erkenntnisse bestätigt, dass Sehen und Verstehen das Produkt synchroner Nervenaktivität in verschiedenen Hirnarealen und als solches untrennbar miteinander verbunden sind.

Von dieser Warte aus betrachtet, macht es Sinn, so verschiedenartige Phänomene wie etwa Objekte der Aussenwelt, Ereignisse oder Gedanken als grundsätzlich strukturgleich zu betrachten. Entsprechend dem Aufbau einer Nervenzelle kommen nämlich allen vom Organismus erkannten respektive erfundenen Entitäten Beziehungen zu, die zu ihnen hinweisen, und solche, die von ihnen wegführen. Damit findet die in Kapitel 3.1 gezeichnete Struktur eines Dings eine Bestätigung in den Ergebnissen der modernen Hirnbiologie. Aber auch der erfolgreiche Versuch von Jon Barwise und John Perry, die Welt und deren Bestandteile, die Ereignisse, die Sprache sowie die mentalen Einstellungen auf dieselbe, einfache Struktur einer Situation zurückzuführen, finden so eine plausible Grundlage. Alles Wahrnehmbare und alles Intelligible, unabhängig davon, ob man es mit Zeichen, Situation oder Ding benennt, ist nämlich nach der eben geschilderten Auffassung nichts anderes als ein Konstrukt unseres Gehirns und damit stets abhängig von dessen situativem Kontext und dessen dingspezifischem Aprioriwissen. Dies gilt in gleicher Weise für wahrgenommene 'reale' Dinge wie für erfundene 'Hirngespinnste', für wortsprachliche Gebilde wie für Verhaltensmuster, für stationäre Dinge wie für erlebte Ereignisse, denen folglich immer das Merkmal der Pragmatik anhaftet. Selbstverständlich gelten dieselben Aussagen notwendigerweise auch für die von Barwise und Perry in der Aussenwelt vermuteten, tatsächlich aber auch vom Gehirn konstruierten Beschränkungen. Alle Dinge haben grundsätzlich dieselbe Struktur, die stets ein Abbild der Struktur des individuellen Gehirns im allgemeinen und der Struktur von dessen Nervenzellen im einzelnen darstellt. Damit finden auch die Einteilung der Beziehungshülle um das Ding in eine $r_{\text{syntaktische}}$ und in eine $r_{\text{semantische}}$ Hülle sowie die geäußerten Gedanken zum Pragmatikbegriff eine einfache und überdies plausible Erklärung.

In dieser Welt der Hirnkonstrukte spielt die Sprache naturgemäss eine zentrale Rolle. Sie ist nämlich eines der wichtigsten Medien, mit dem ein Individuum seine Vorstellungen der Welt anderen Individuen offenbaren kann. Auf diese Weise gelingt es, die unterschiedlichen, individuellen 'Welten', die von den verschiedenen Individuen konstruiert werden, wechselseitig in Einklang zu bringen, sie aufeinander abzustimmen und einander anzugleichen. Die Sprache wird so gleichsam zum Gradmesser des Individuums für die Richtigkeit des eigenen Weltkonstrukts. Mit dieser Erkenntnis ist es einleuchtend, dass Quine die Existenz von Gegenständen und Vorgängen der Aussenwelt mit der Existenz von Aussagen über dieselben Entitäten gleichsetzt, weil nur so ein breit abgestützter Konsens über deren Vorhandensein erreicht werden kann. Die damit einhergehende Forderung, dass die wissenschaftlichen Aussagen zwecks Vermeidung sprachbedingter Ambiguitäten mit eindeutigen, in die kanonische Form paraphrasierter Sätzen gefasst werden sollen, ist eine notwendige Folge dieser Einstellung. In diesem Sinne wird auch die nachmalige Formulierung einer Informationstheorie an der Eindeutigkeit ihrer Aussagen gemessen werden. Auf der anderen Seite kommt der Sprache als Analysegegenstand einer Informationstheorie keine herausragende Rolle zu, weil sie genau wie die durch ihre Aussagen referenzierten Dinge ein Konstrukt unseres Gehirns ist und als solches gleich zu behandeln ist wie die übrigen Dinge.

Die Ergebnisse in Kapitel 3 haben insgesamt ein Gerüst erschaffen, mit der sich ein formaler Informationsbegriff unabhängig vom Kontext, in welchem sich der einzelne Informationsvorgang vollzieht, aber auch frei von Einschränkungen irgendwelcher Art, wie etwa der Verzicht auf den Aspekt der Semantik in der Kommunikationstheorie von Claude E. Shannon (vgl. [Shannon 1969]), entwickeln lässt.

4 INFORMATION, EIN NEUES KONZEPT

Im vorangehenden Kapitel wurden Begriffe wie Zeichen, Syntax, Semantik oder Pragmatik diskutiert, die wegen ihrer unklaren respektive ungeeigneten Bestimmung zu widersprüchlichen Ergebnissen in den traditionellen Informationstheorien führten. Dabei wurde von Beginn weg darauf hingearbeitet, einen übergreifenden Rahmen zu finden, in den die scheinbar unvereinbaren Aspekte der verschiedenen Informationstheorien eingeordnet werden können. Ein solcher Rahmen wurde gefunden in der Erkenntnis, dass die wahrgenommenen Dinge der Aussenwelt analog zu den Gedanken eines Organismus gleichsam Konstruktionen des individuellen Gehirns sind, was zur Folge hat, dass die Frage nach der Struktur der Dinge in einer ersten abstrakten Phase nur dadurch eine Antwort finden kann, dass sie am neuronalen Modell des Gehirns verstanden wird. Dies gilt selbstverständlich auch für den Begriff der Information, der eine konzeptionelle Schöpfung des menschlichen Gehirns ist. Damit sind die Leitplanken gesetzt, denen entlang ein neues Konzept des Informationsbegriffs entwickelt werden soll.

4.1 Universelles Kommunikationssystem

Kapitel 2 schaffte einen Überblick über die unterschiedlichen Bestimmungen des Informationsbegriffes in den verschiedenen Kommunikations- und Informationstheorien. Dabei wurde erkannt, dass sich die differierenden Ansichten grob in die funktionell-kybernetischen und in die strukturell-attributiven Theorien einteilen lassen. Während die erste dieser beiden Richtungen die Information als Vorgang der Kommunikation betrachtet, versteht die zweite Richtung die Information als eine geordnete Vielheit von Entitäten, die sich als Elemente der Kommunikation anbieten können. Dementsprechend unterschiedlich fallen auch die zur Erklärung der Information verwendeten Modelle aus. Während das funktionell-kybernetische Kommunikationsmodell Shannons aus Figur 1 die Signalübertragung von einem Sender über einen Kanal hin zu einem Empfänger erklären will, versucht Nauta in seinem Konzept des I-Systems (Figur 2), das entscheidend durch die strukturell-attributiven Vorstellungen MacKays inspiriert wurde, die durch den Informationsvorgang provozierten Änderungen dessen inneren Zustandes P zu untersuchen. Dies hat zur Folge, dass beide Konzepte Fragen, die den Informationsbegriff betreffen, wie etwa jene nach der Informationseinheit, auf unterschiedliche Weise beantworten. Da nun aber in der neuen Situation die strukturellen Unterschiede zwischen Ereignis und Objekt gemäss den Erkenntnissen aus Kapitel 3 entfallen, besteht die berechtigte Hoffnung, dass eine Vereinigung der beiden scheinbar unvereinbaren Konzepte von Informationstheorien möglich wird.

Das Shannonsche Kommunikationssystem besteht aus den sechs Komponenten Informationsquelle, Sender, Kanal, Geräuschquelle, Empfänger und Destination, die selektiv entsprechend der Kommunikationsrichtung durch gerichtete Beziehungen miteinander verbunden sind (vgl. Figur 1 auf Seite 8). Die Kommunikation funktioniert dabei derart, dass die von der Informationsquelle erzeugte Nachricht durch den Sender an den Kanal übergeben wird. Im Kanal kann sodann die Nachricht durch Signale einer Geräuschquelle verfälscht werden. Auf der anderen Seite des Kommunikationssystems entnimmt der Empfänger dem Kanal die übermittelten Signale, um sie anschliessend der Destination zur Endverarbeitung weiterzuleiten. Mit dieser Beschreibung fasst Shannon jene Aspekte der Information konzeptionell zusammen, die unter die funktionell-kybernetische Sicht der Information fallen. Die dabei mitgelieferte mathematisch-statistische Formulierung der Vorgänge bildet zudem die formale Grundlage der technischen Realisierung von Kommunikationssystemen und Computern. Shannon klammerte in seiner Arbeit allerdings wichtige Aspekte der Information wie etwa die Semantik bewusst aus, weil sie ihm für die technische Verwirklichung seiner Konzepte irrelevant schienen.

Genau diese Ansicht Shannons nimmt Nauta zum Anlass für Überlegungen bezüglich eines alternativen Grundmodells der Information. In seinem Konzept des I-Systems will er deshalb von der rein technischen

Anwendung abstrahieren und auch psychologische und epistemologische Überlegungen in seine Gedanken einbeziehen. Das I-System soll so die Grundlage einer Informationstheorie darstellen, die sich als Bindeglied zwischen natur- und geisteswissenschaftlichen Fächern versteht. Aus diesem Grunde fragt Nauta nicht bloss nach der Informationsübertragung von einer Informationsquelle hin zu einer Destination, sondern auch nach der individuellen Informationsverarbeitung des I-Systems und deren Wirkung auf dessen Umwelt. In diesem Sinne ist das I-System nicht abgeschlossen wie Shannons Kommunikationssystem, sondern es ist offen konzipiert, bestückt mit der Möglichkeit, im Rahmen einer Morrissschen Semiose Information zu empfangen, zu verarbeiten und auszusenden.

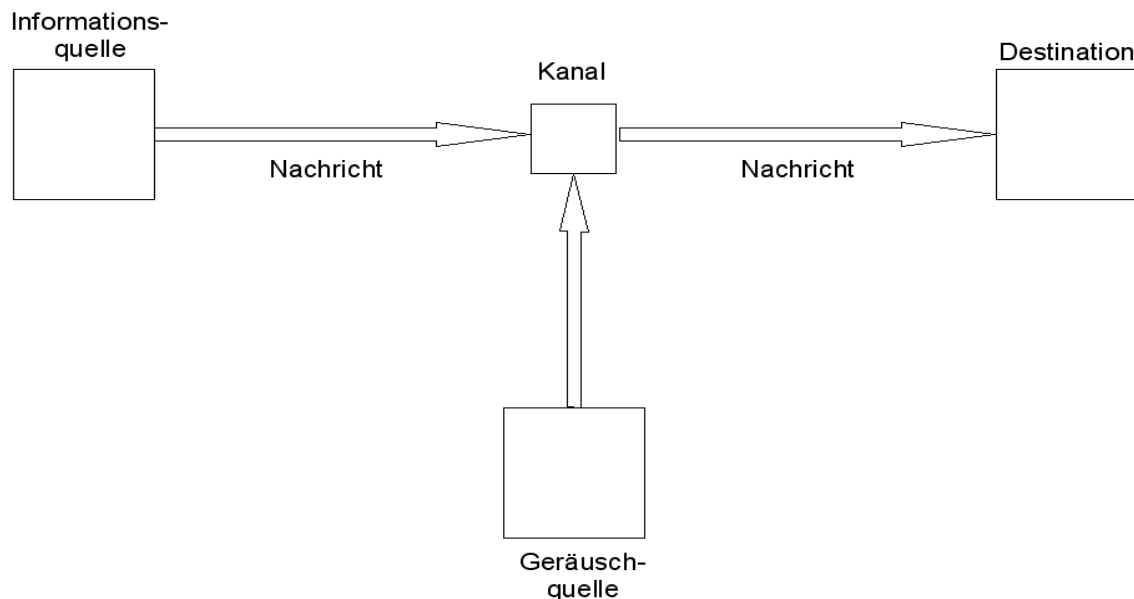
Das I-System besteht aus den Komponenten Sender, Empfänger, zwei Filter und einem inneren Zustand P, die entsprechend der Verarbeitungsrichtung durch gerichtete Beziehungen paarweise verbunden sind (vgl. Figur 2 auf Seite 13). Eine Semiose verläuft darin nach Meinung Nautas dergestalt, dass ein Informationsträger vom Empfänger aufgenommen und vom nachfolgenden Filter als Zeichen erkannt wird, worauf sich der innere Zustand P des I-Systems ändert. Diese Änderung bewirkt im nachfolgenden Filter den Aufbau eines zielgerichteten Verhaltensmusters, welches anschliessend über den Sender an die Aussenwelt abgegeben wird. Für Nauta steht damit die strukturell-attributive Frage nach den durch einen Informationsvorgang bewirkten Veränderungen der inneren Struktur eines I-Systems und deren Wirkungen auf die Umwelt im Vordergrund.

Damit steht fest, dass beide Forscher nur einen von zwei wichtigen Aspekten der Information in ihren Theorien erörtern, nämlich den Gesichtspunkt der Informationsübertragung (Shannon) respektive den Aspekt der Informationsanhäufung (Nauta). Wenn also eine Vereinigung der beiden Konzepte angestrebt wird, muss nach Möglichkeiten gesucht werden, eines der beiden Konzepte im anderen zu integrieren. Zu diesem Zwecke soll als erstes versucht werden, die Fragen des einen Forschers im System des anderen Forschers zu beantworten. Shannons Hauptproblem etwa besteht in der Frage, wie eine Nachricht unverfälscht von einer Informationsquelle zu einer Destination übermittelt werden kann. Aus diesem Grunde zeichnet das Kommunikationssystem von Shannon in Figur 1 auch die Situation zwischen zwei derartigen Kommunikationsstationen im Detail auf. Nauta auf der anderen Seite würde im selben Modell nach den Gründen fragen, die eine Informationsquelle dazu bringt, eine Nachricht zu generieren. Des weiteren wäre für Nauta die Reaktion der Destination auf den Reiz des Empfangs der Nachricht von vordringlichem Interesse. Die Situation der Signalübermittlung zwischen Informationsquelle und Destination ist für ihn dagegen von sekundärer Wichtigkeit. Aus diesem Grunde stellt Nauta in seinem Konzept des I-Systems das informationsverarbeitende Ding in den Mittelpunkt, das irgendwelche Signale empfängt, verarbeitet und als Reaktion darauf wiederum Signale aussendet. Er legt dabei starkes Gewicht auf die Erforschung des inneren Zustands des I-Systems, was wiederum für Shannon ein zweitrangiges Problem darstellt, denn dieser würde sich bei der Analyse des I-Systems hauptsächlich für jene Vorgänge interessieren, die nach dem Absenden respektive vor dem Empfangen einer Nachricht ablaufen.

Diese kurze Gegenüberstellung der beiden Ansätze zeigt deutlich, dass es wenig Sinn macht, das eine System gegen das andere auszuspielen. Es handelt sich nämlich vielmehr um komplementäre Ansätze, die für sich genommen nur Teilaspekte der Information behandeln, zusammen indes ein abgerundetes Modell der Information abgeben können. Beide Forscher setzen nämlich mit ihren Fragen genau an jenen Stellen an, an denen der andere in seinem eigenen Modell keine relevanten Probleme mehr sieht. Aus dieser Erkenntnis heraus erscheint eine Vereinigung der beiden Konzepte als eine einfache Angelegenheit. Es müsste nämlich nur eines der beiden Systeme derart abgewandelt werden, dass die Fragestellung des anderen Forschers darin integriert werden kann. So entstünde ein universelles Kommunikationssystem, das den Vorstellungen beider Forscher entsprechen würde.

Ohne Einschränkung der Allgemeinheit seien die Anpassungen am Kommunikationsmodell von Shannon vorzunehmen. Aus Nautas Sicht müssten in diesem Modell die Informationsquelle und die Destination als I-System definiert werden. Dies ist indessen nicht ohne konzeptionelle Anpassungen am Kommunikationsmodell möglich. Weil nämlich das I-System an seiner Ausgangsschnittstelle zur Aussenwelt bereits einen Sender vorsieht, wird im neuen System der Sender, der in Shannons Modell der Informationsquelle nachgeschaltet ist, überflüssig. In ähnlicher Weise wird der Empfänger, welcher der Destination vorgeschaltet ist, gegenstandslos, weil das I-System an seiner Eingangsschnittstelle bereits einen Empfänger besitzt. Damit hat die schematische Darstellung eines universellen Kommunikationssystems gegenüber der ursprünglichen Ausführung von Shannon eine einfachere Struktur, weil die beiden oben erwähnten

Komponenten darin nicht mehr explizit erscheinen müssen. Ein solches universelles Kommunikationssystem als Gegenstand der weiteren Betrachtungen in diesem Kapitel umfasst also nunmehr eine Informationsquelle, eine Destination, einen Kanal und eine Geräuschquelle (Figur 6).



Figur 6: Schematische Darstellung eines universellen Kommunikationssystems.

Ein Aspekt, der in beiden Konzepten nicht oder nur ungenügend berücksichtigt wurde, ist jener der unadressierten Information. Um auch diesen Gesichtspunkt einzuschliessen, muss am vorliegenden Entwurf eines universellen Kommunikationsmodells eine kleine Modifikation vorgenommen werden. Es ist nämlich eine Eigenschaft der unadressierten Information, dass die entsprechende Informationsquelle ihre Information nicht einer genau spezifizierten Destination übermittelt, sondern diese unadressiert an ihre Umgebung abgibt. Erst wenn sich ein anderes I-System durch eine derartige Information als Destination angesprochen sieht, kann sich eine Beziehung zwischen der Informationsquelle und dieser Destination in Form eines Kanals ausbilden. Selbstverständlich kann ein solcher Kanal auch wieder durch eine Geräuschquelle gestört werden. Aus diesem Grunde darf die Kanalstruktur aus Figur 6, die die Informationsquelle mit der Destination verbindet, nicht als fixierte, immerwährende Verbindung dieser beiden Komponenten verstanden werden, sondern sie muss vielmehr als akzidentielle, nur temporär gültige Beziehung der beiden am Modell in Figur 6 teilhabenden I-Systeme gelten.

Durch diese Modifikationen erfährt das universelle Kommunikationsmodell gegenüber dem Shannonschen Kommunikationsmodell eine Erweiterung in den Anwendungsmöglichkeiten, so dass darin alle in den vorangehenden Kapiteln aufgelisteten Informationsphänomene ihren Platz finden. Weil nämlich die Informationsquelle und die Destination nicht mehr als unerforschliche Blackboxes, sondern als Systeme mit einem wohldefinierten inneren Aufbau verstanden werden, steht das System der Mannigfaltigkeit von Nautas Interpretationsspanne offen. Dies hat beispielsweise zur Folge, dass die Kommunikation zwischen intelligenten Individuen nun expliziter Teil der Betrachtungen um den Informationsbegriff wird. Zwar hat Shannon diese Möglichkeit in seiner Arbeit nie ausdrücklich ausgeschlossen, doch er lässt, im Gegensatz zu Nauta, dessen Konzept des I-Systems mit Absicht im Hinblick auf die intelligente Signalverarbeitung entworfen wurde, Anstrengungen für deren Aufnahme in seine Theorie vermissen. Auf der anderen Seite lässt Nauta bewusst triviale I-Systeme zu, so dass auch einfache Maschinen oder Gegenstände in seinen Betrachtungen der Information berücksichtigt werden können. Schliesslich konnte dank dem Vorschlag, Kanal und Geräuschquelle als akzidentielle Bestandteile des universellen Kommunikationssystems zu betrachten, die zuvor insuffizient integrierte unadressierte Information in diesem Modell abgebildet werden. Damit gelingt es, ein System zu entwerfen, das die Mängel des Shannonschen Kommunikationsmodells behebt, ohne aber auf dessen Vorzüge verzichten zu müssen.

4.2 Informationsträger und Informationselement

Ein weiteres Problem, das die Informationstheorien der Vergangenheit durchzieht, ist die unterschiedliche Abgrenzung der beiden Begriffe Informationsträger und Informationselement. Für Nauta etwa ist das Zeichen als Auslöser einer Semiose in einem I-System der Informationsträger, denn nur die dem Zeichen immanente Information kann nach Nauta den inneren Zustand P eines I-Systems im Zuge einer Semiose verändern. Die Informationsbestandteile, die ein solches Zeichen trägt, sind nach Nauta von unterschiedlichem Charakter. Entsprechend den drei das Zeichen ausmachenden Dimensionen Syntax, Semantik und Pragmatik kann ein Zeichen nämlich syntaktische, semantische und pragmatische Information enthalten, wobei Nauta für alle diese drei Informationsarten je eine eigene Informationstheorie mit je einer eigenen Informationseinheit vorschlägt (vgl. [Nauta 1970, S. 162 ff.]). Diese Informationstheorien lassen sich der grossen Unterschiede wegen nach Nautas Vorstellungen sodann nur unter der offen formulierten Zeichentheorie vereinen.

Anders gestaltet sich die Schwierigkeit in jenen Informationstheorien, die der Schannonschen Kommunikationstheorie nahestehen. In ihnen wird in erster Linie die bereits von Norbert Wiener gestellte Frage nach der Übertragung von Information in Form von Alternativen über einen Kanal gestellt. Als elementare Information bietet sich damit notwendigerweise die binäre Entscheidung an, bei der aus bloss zwei Alternativen deren eine ausgewählt wird. Diese Setzung wird ausserdem durch die Feststellung gerechtfertigt, dass jede mehrwertige Entscheidung auf eine Folge von zweiwertigen und damit nicht weiter unterteilbaren Entscheidungen zurückgeführt werden kann. Eine so konzipierte 'Informationseinheit' repräsentiert demnach die Selektion aus der kleinsten Menge, die noch eine echte Alternative zulässt, nämlich aus einer Menge mit bloss zwei Elementen. Diese Art von Informationseinheit wird häufig mit dem Namen Bit bezeichnet, was als Akronym der englischen Formulierung 'basic indissoluble information unit' (übersetzt: grundlegende unzerlegbare Informationseinheit) gilt.

Das Wort Bit wird indes in der Literatur nicht einheitlich verwendet. Es existiert nämlich neben der eben zitierten Version noch eine zweite Variante, welche Bit als Abkürzung der beiden englischen Worte 'binary digit' versteht, was mit Binärziffer zu übersetzen ist. In diesem Falle gilt das Bit als das kleinste Darstellungselement der binären Darstellung von Daten. Meistens werden die beiden Ziffern '0' und '1', die den Zeichenvorrat des Dualsystems bilden, als Binärziffern eingesetzt. Das so definierte Bit ist damit in gleicher Weise für die Darstellung allgemeiner Daten wie für die Lösung rechnerischer Probleme geeignet.

Der Begriff Bit wird dadurch doppeldeutig angewendet, nämlich einerseits als zweiwertige Auswahl aus einer binären Menge und andererseits als Binärziffer, die entweder den Wert '0' oder den Wert '1' respektive adäquate Codealternativen repräsentiert. Zur Unterscheidung der beiden Bestimmungsalternativen nennen wir den in der ersten Definition festgelegten Sachverhalt Bit_1 und konsequenterweise den zweiten Bit_2 . Die Wurzel der Ambiguität zwischen der Bestimmung von Bit_1 und jener von Bit_2 liegt darin, dass die beiden Alternativen unterschiedliche Stadien des Phänomens der binären Entscheidungsfindung abbilden. Während nämlich Bit_1 die Existenz einer nicht zwingend gefällten Binärentscheidung darstellt, zeigt Bit_2 das Resultat einer solchen Entscheidung in Form eines fixen Wertes aus der Menge $\{0,1\}$ an. Bit_1 steht demnach für etwas, das ohne Vorbestimmung einen der beiden Werte von $\{0,1\}$ enthalten kann, während Bit_2 die gefällte Entscheidung anhand eines dieser beiden Werte ausdrückt. Damit steht Bit_1 für den Träger einer zu fällenden und anhand eines Elements des Typs Bit_2 festzuhaltenden Entscheidung.

Wird Bit_1 als Ding im Sinne von Kapitel 3 verstanden, so enthält dessen r _semantische Hülle lediglich zwei Elemente, nämlich die Beziehungen zu jenen beiden Dingen, die an der Auswahl beteiligt sind. In diesem Sinne repräsentiert Bit_1 als Ding mitunter die elementare Speicherzelle in einem Computer, wobei die beiden durch die r _semantischen Beziehungen von Bit_1 referenzierten Dinge die Werte '0' und '1' respektive ihr elektronisches Äquivalent vertreten. Wenn nun der Fall eintritt, dass eine der beiden r _semantischen Beziehungen ausgewählt wird, etwa als Wert, der in einer Speicherzelle abgelegt ist, so verweist diese Beziehung auf eine Binärziffer und somit auf ein Ding des Typs Bit_2 .

Wir können aus den eben skizzierten Aussagen die folgenden Schlüsse ziehen: Im binären Entscheidungsfall spielen Dinge des Typs Bit_1 die Rolle des Informationsträgers, die sich stets als Ablagemöglichkeit einer Binärenentscheidung anbieten, ohne deren Resultat vorwegzunehmen. Auf der anderen Seite sind Beziehungen, die auf Bit_2 verweisen, die Informationselemente im binären Entscheidungsfall. Sie repräsentieren gefällte Entscheidungen und stellen damit gleichsam atomare Entitäten dar. Diese Folgerungen gelten indessen nur für Binärenentscheidungen und nicht für die übrigen Dinge der Welt. So ist etwa der Informationsträger einer Ternärenentscheidung niemals ein Ding des Typs Bit_1 , weil ein solcher eine r _semantische Hülle mit drei Elementen haben muss, Bit_1 aber nur deren zwei enthält. Die entsprechenden Informationselemente können ihrerseits keine Beziehungen sein, die auf Bit_2 verweisen, weil sie je einen Wert aus einer Menge mit drei Elementen darstellen sollten. Gewiss lassen sich alle formulierbaren Dinge und Sachverhalte binär darstellen, doch dabei handelt es sich stets um Paraphrasierungen von Aussagen einer Sprache in ihr binäres Pendant. Eine Paraphrasierung kann gemäss den Feststellungen aus Kapitel 3.2.1 der ursprünglichen Aussage beliebig nahe kommen, sie ist jedoch nie mit ihr identisch.

Es stellt sich also berechtigterweise die Frage nach einer allgemein gültigen Bestimmung der Begriffe Informationsträger und Informationselement. Wenn hierzu die Hypothesen betreffend den binären Entscheidungsfall verallgemeinert und mit den Erkenntnissen aus Kapitel 3 abgestimmt werden, entsteht die Vermutung, dass die von Gehirnen konstruierbaren Dinge die Informationsträger und die Beziehungen zwischen diesen Dingen die Informationselemente darstellen könnten. Für die Plausibilität dieser Annahme gibt es einige Hinweise: Einmal steht Nautas Feststellung, dass ein Zeichen der Morrisschen Prägung als Informationsträger funktioniert, in Einklang mit der eben vorgeschlagenen Verallgemeinerung des Begriffs des Informationsträgers, weil ein Morrissches Zeichen gemäss Kapitel 3.1 eine Sonderart eines Dings verkörpert. Darüber hinaus liefert die Situationstheorie von Barwise und Perry einen Beitrag zur Stützung dieser These: Nach dieser Theorie ist nämlich Information immer Information über etwas und deshalb abhängig von Beschränkungen zwischen Situationen. Demnach gibt es Situationen, die über andere Situationen Informationen enthalten, was durch die dazwischen liegende Beschränkung markiert ist. Eine derartige Beschränkung ist demzufolge stets gerichtet von der Situation, die die Information trägt, hin zu jener Situation, die durch die Beschränkung als informationelle Beziehung referenziert wird. Die elementare Information der Situationstheorie ist damit immer ein Element der r _semantischen Hülle jener Situation, die ihrerseits die Rolle des Informationsträgers spielt. Weil wiederum der Begriff der Situation zufolge Kapitel 3.2.2 bloss eine Variante des allgemeiner bestimmten Begriffs des Dings repräsentiert, ist auch die situationstheoretische Sichtweise der Information mit der hier vorgeschlagenen Begriffsbestimmung abgedeckt.

Der strukturelle Aufbau dieser als Hirnkonstrukte geltenden Dinge kann nun als Abbild der neuronalen Struktur des das Ding konstruierenden Gehirns verstanden werden. Die Struktur von Informationsträger und Informationselement müsste daher aus dem Hirnmodell herleitbar sein, was sich mit der im letzten Abschnitt aufgestellten Hypothese verträgt. Gemäss dieser Idee wären die Nervenzellen die letzten und atomaren Informationsträger. Die letzten Informationselemente wären nach demselben Modell in den wechselseitigen Beziehungen zwischen den Nervenzellen zu suchen, die ihrerseits durch die entsprechenden Synapsen repräsentiert werden.

Diese Schilderungen mögen darlegen, dass das Bit, sei es als Bit_1 oder als Bit_2 bestimmt, nicht als Informationselement schlechthin gelten kann, sondern dass es bloss den Informationsträger respektive das Informationselement im binären Entscheidungsfall darstellt. Bit_1 als Dingart unterscheidet sich aber trotzdem von den übrigen Dingarten in einem ganz wesentlichen Punkt: Es steht nämlich für jene Art Ding, die die kleinste r _semantische Hülle aufweist, aus der eine unter mehreren Beziehungen ausgewählt werden kann. Weil sich jeder noch so breit gefächerte Entscheidungsbaum auf eine binäre Struktur abbilden lässt, wird Bit_1 auch weiterhin eine herausragende Rolle besonders in der technischen Informationsverarbeitung spielen, zumal es auf elektronischem Wege leicht nachzubilden ist. Es muss aber dennoch mit Bestimmtheit darauf hingewiesen werden, dass die binär dargestellte Information, insofern sie nicht selber den Informationsgegenstand darstellt, stets ein Abbild der durch sie repräsentierten Information ist, und damit nicht mit ihr gleichgesetzt werden darf.

Die bisher geäusserten Umschreibungen der Begriffe Informationsträger und Informationselement vermitteln den Eindruck, es handle sich um Begriffe, die grundsätzlich verschiedene Sachverhalte be-

schreiben. Nun hat aber das Strukturmodell des Wissens in Kapitel 3.3.4.3 aufgezeigt, dass Beziehungselemente dann konzeptionell zu Grundelementen werden können, wenn Wissen über sie angehäuft werden soll⁽³⁸⁾. Weil Wissen als Grundlage für die Hirnkonstrukte der Subjekte einen wichtigen Aspekt in der Diskussion um den Informationsbegriff darstellt, muss dieser Sachverhalt auch in die Bestimmung der Begriffe Informationsträger und Informationselement einfließen. In diesem Sinne kann es Fälle geben, in denen Informationselemente die Rolle des Informationsträgers übernehmen, dann nämlich, wenn über eine Beziehung als Informationselement informiert wird. In diesen Fällen spielen Aspekte des Aufbaus der Zugehörigkeit und der Bedeutung des Informationselementes eine Rolle, was zur Folge hat, dass das Beziehungselement selber von einer Hülle $r_{\text{syntaktischer}}$ und $r_{\text{semantischer}}$ Beziehungen umgeben wird. Damit erfüllt dieses Beziehungselement aber die Voraussetzungen, die an einen Informationsträger gestellt werden. Das Informationselement als Beziehung ist von diesem Standpunkt her betrachtet nicht mehr etwas, das bloss zwischen zwei Informationsträgern steht, sondern es kann selber in den Mittelpunkt des Interesses gerückt und damit zu einem Element werden, das von einer Beziehungshülle umgeben ist.

Mit diesen Angaben ist der Bereich dessen, was als Informationsträger und als Informationselement gelten kann, abgesteckt. Alle von Gehirnen konstruierbaren Einheiten können die Rolle des Informationsträgers spielen. Dabei werden nicht bloss die Dinge der Aussen- und der Vorstellungswelt, sondern auch die Beziehungen zwischen solchen Dingen, insofern sie als Gegenstände erforscht werden sollen, als Einheiten betrachtet. Die Informationselemente auf der anderen Seite sind die Beziehungen zwischen den die Rolle des Informationsträgers spielenden Dingen. Dabei gilt es festzuhalten, dass alles, was durch irgendein Gehirn konstruierbar ist, die Rolle eines Informationsträgers spielen kann. Andere einschränkende Charakteristika wie etwa das Merkmal der Wahrheit oder der Faktengerechtigkeit, die Dretske respektive Barwise und Perry als notwendige Eigenschaften der Information postulieren, werden durch die hier formulierte Informationstheorie zur blossen Eigenschaft eines Dings als Informationsträger zurückgestuft, die einzig eine qualitative Aussage bezüglich des Dings machen kann. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, um den Informationsbegriff frei von jeglichem Wertbegriff näher zu umschreiben.

4.3 Phänomenologische Betrachtungen zum Informationsbegriff

Basierend auf der Klärung von Grundbegriffen in Kapitel 3 konnten die beiden im historischen Überblick grundsätzlich unterschiedenen Modelle von Informationstheorien, nämlich das strukturell-attributive und das funktionell-kybernetische Modell, konzeptionell vereinigt werden. Eine einheitliche Theorie der Information wurde indessen noch nicht formuliert. Weil sich jedoch beide Modelle auf das gleiche universelle Kommunikationssystem zurückführen lassen (vgl. Figur 6 auf Seite 63), steht dem Versuch nichts mehr im Wege, die phänomenologischen Betrachtungen beider Ansichten mit denselben Elementen, das heisst dem in Kapitel 4.2 entwickelten Konzept des Informationsträgers und des Informationselementes, zu beschreiben.

Als erstes sei die strukturell-attributive Version der Information analysiert: Die Information als Struktur ist ein Ding als Informationsträger zusammen mit den wegweisenden $r_{\text{semantischen}}$ Beziehungen als Informationselementen. Dabei sind die Art und der innere Aufbau des Dings unerheblich, denn die Aussage gilt in gleicher Weise für physische wie für geistige, für inerte wie für veränderliche Dinge. Ein derart konstruierbares Ding ist mitunter geeignet, die Rolle eines I-Systems zu übernehmen, womit das Ding in seiner Eigenschaft als Informationsträger an die Stelle der Informationsquelle respektive der Destination treten kann (vgl. Figur 6).

⁽³⁸⁾ Über die neuronale Entsprechung dieses vermeintlichen Sonderfalles wurde im selben Kapitel berichtet.

Wird eine Informationsquelle als Struktur im oben erwähnten Sinne betrachtet, so drängt sich folgende interessante Feststellung auf: Die r _semantische Hülle einer solchen Informationsquelle enthält mitunter jene Beziehungen, welche auf die von ihr generierbaren Nachrichten verweisen. Im Falle einer bloss zeichenproduzierenden technischen Informationsquelle im Sinne Shannons entsprechen diese Beziehungen genau der Mannigfaltigkeit der unterschiedlichen, von der Informationsquelle produzierbaren Zeichen, also ihrem Zeichenvorrat. Dabei gilt es festzuhalten, dass verkettete Kombinationen derartiger Zeichen zwar von interpretierenden Menschen als Ganzheiten verstanden, von dieserlei Informationsquellen indessen nicht als solche 'erkannt' werden können, denn für jede Maschine ist jede von ihr produzierte Nachricht nichts anderes als eine Folge von einzelnen Zeichen, deren Auftreten sich höchstens statistisch voneinander unterscheidet.

Anders ist die Sachlage, wenn ein lernfähiges, belebtes Wesen wie etwa ein Mensch als Informationsquelle untersucht wird. Diese Art Informationsquelle unterscheidet sich gegenüber der technischen Variante bezüglich der Menge an generierbaren Nachrichten in einem wesentlichen Punkt: Sie besitzt im Gegensatz zur technischen Informationsquelle, die Fähigkeit elementare Nachrichten zu grösseren Einheiten zusammensetzen, die wiederum Elemente übergeordneter Nachrichten sein können, und so weiter. Die daraus resultierende, quasi unbeschränkte Anzahl möglicher Nachrichten, die eine belebte Informationsquelle erzeugen kann, hat zur Folge, dass deren r _semantische Hülle eine Komplexität erreicht, die in ihrer Gesamtheit kaum mehr explizit zu fassen ist. Diese an sich ernüchternde Erkenntnis ist indes für eine Informationstheorie, deren Hauptbaustein das Ding als Hirnkonstrukt darstellt, leicht zu bewältigen. Welches Individuum oder welches Objekt auch immer in einem universellen Kommunikationssystem die Rolle der Informationsquelle spielt, es wird stets als Hirnkonstrukt eines Individuums, welches das Kommunikationssystem als externer Beobachter erfährt, in die entsprechenden informationstheoretischen Betrachtungen fliessen. Darin wird sich die Mannigfaltigkeit der r _semantischen Hülle jedweder Informationsquelle auf den vom Beobachter erfassbaren Bereich beschränken.

Die Information als funktionell-kybernetischer Vorgang wird nun derart verstanden, dass Nachrichten in kodierter Form als Entsprechungen einzelner Wissensbestandteile einer Informationsquelle über einen Kanal der ihr gegenüberliegenden Destination übertragen werden. Dabei muss kein direkter Bezug zwischen Nachricht und Wissensbestandteil der Informationsquelle bestehen. So haben etwa die Lautfolgen einer gesprochenen Nachricht in den wenigsten Fällen einen direkten Bezug zu deren Inhalt. Die Entsprechungen müssen aber derart gewählt werden, dass die Destination beim Entschlüsseln der Nachricht den von der Informationsquelle intendierten Sachverhalt adäquat nachvollziehen und in ihre eigenen Strukturen einordnen kann. In diesem Sinne muss der Destination im Minimum die Kodierungsvorschrift, mit welcher der ursprüngliche Sachverhalt in die Nachricht transformiert wurde, als Aprioriwissen bekannt sein.

Eine Nachricht, die entsprechend den oben skizzierten Vorgaben von einer Informationsquelle abgeschickt wird, bewirkt eine Veränderung der inneren Struktur einer Destination. Unter der Vorgabe, dass die Destination ein technischer Apparat sei, kann ohne Einschränkung der Allgemeinheit angenommen werden, dass der Speicher binär organisiert ist. Demgemäss wird im Speicher im Anschluss an die Informierung entsprechend der Länge der Nachricht eine Anzahl Bit_1 der neuen Situation angepasst. Damit wird indessen nicht das 'Wissen' einer Maschine vergrössert, sondern es wird bloss der Zustand von einigen Bit_1 verändert. Wohl steht für den möglichen Benutzer des Apparates etwas grundsätzlich Neues im Speicher, nicht aber für die Maschine selber. Sie ist von Anfang an darauf ausgerichtet, in jedem Bit_1 ein Bit_2 , das heisst einen von zwei möglichen Werten abzuspeichern, und hat deshalb durch das Abspeichern einer Nachricht nichts grundsätzlich Neues erfahren. Die r _semantische Hülle des Bit_1 , das heisst die Beziehungen von Bit_1 zu den Werten 0 und 1, bleibt durch diesen Vorgang unangetastet. Genau gleich verhält es sich, wenn anstelle der r _semantischen Hülle eines einzelnen Bit_1 jene des gesamten Speichers eines technischen Apparates analysiert wird. Auch hier wird ausser der Anordnung von Binärziffern durch eine Informierung nichts geändert.

Anders ist die Lage, wenn die Destination für ein lernfähiges Wesen steht. Hier werden durch die Einordnung der Nachricht in die kognitiven Strukturen neue Strukturelemente erzeugt, sofern die drei folgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- 1) Die Destination ist bereit, eine Nachricht zu empfangen und sie auf ihren Gehalt hin zu analysieren.
- 2) Die Nachricht wird von der Destination verstanden. Hierzu benötigt die belebte Destination Aprioriwis-

sen bezüglich der Erzeugungsvorschrift der Nachricht, das heisst die belebte Destination kennt mindestens die Sprache, in der die Nachricht verfasst wurde. Dadurch entsteht erst die Möglichkeit, die geeigneten kognitiven Strukturen zu orten, in die der Inhalt der Nachricht eingebettet werden soll.

- 3) Die Nachricht enthält für die Destination eine Neuigkeit, das heisst etwas, das geeignet ist, das Wissen der Destination zu verändern. In diesem Sinne gibt es vier Arten von Neuigkeiten einer Nachricht:
- a) Die Destination erfährt etwas, das sie zuvor noch nicht wusste. Hierbei ist zu beachten, dass das Aprioriwissen der Destination neben der Sprache der Nachricht auch fachspezifisches Wissen bezüglich deren Inhalt einschliessen muss, weil sonst die kognitiven Angelpunkte zur Einbettung dieser Nachricht im Gedächtnis der Destination fehlen. (Es ist beispielsweise sinnlos, einem achtjährigen Schulkind die Quantenmechanik zu erklären, weil ihm hierzu die physikalischen Grundbegriffe fehlen.)
 - b) Die Destination erfährt etwas, das sie zwar der Spur nach, nicht aber mit voller Gewissheit kannte. In diesem Fall wird die Nachricht dazu beitragen, das in Form von Vermutungen vorhandene Wissen im Gedächtnis besser zu verankern.
 - c) Die Destination erfährt etwas, das ihrem bisherigen Wissen widerspricht. In diesem Fall besteht der Innovationswert der Nachricht darin, dass das bisher vermeintlich Gewusste als falsch entlarvt und im Gedächtnis durch neues Wissen verdrängt wird.
 - d) Die Destination erfährt etwas, das sie bereits wusste. In dieser Situation besteht die Neuigkeit der Nachricht darin, das längst Gewusste zu bestätigen.

Während die im Punkt 3a beschriebene Situation diskussionslos den Empfang einer Neuigkeit durch die Destination beschreibt, geben die drei übrigen Punkte, besonders aber Punkt 3d Anlass zu Vorsicht, weil der Inhalt der durch die Destination analysierten Nachricht von ihr bereits gewusst (3d), zum Teil gewusst (3b) oder vermeintlich gewusst (3c) wird. Die genauere Prüfung der Situationen lässt aber erkennen, dass in allen drei Fällen stets zusätzliche kognitive Strukturen aus dem entsprechenden Informationsvorgang resultieren, die die bestehenden Strukturen ergänzen, jedoch nicht löschen. Dieses Phänomen ist in der Praxis daran zu erkennen, dass eine belebte Destination in der Regel lange nach einer solchen Informierung immer noch weiss, dass sie die entsprechende Tatsache bereits davor wusste, zum Teil wusste respektive vermeintlich wusste. Der hier entworfene Informationsvorgang verändert also in diesen Fällen nicht bloss die individuelle Sicherheit bezüglich des fraglichen Wissens, sondern es werden vielmehr neue Beziehungen in die entsprechende Struktur eingefügt.

Aus diesen Schilderungen kann der Schluss gezogen werden, dass die Destination nicht strukturerweiternd, das heisst, nicht neue Strukturteile bildend, informiert wird, wenn die Nachricht der Informationsquelle lediglich zu einer neuen Anordnung von ohnehin vorgesehenen Werten führt, wie dies bei der Kommunikation zwischen zwei Maschinen im allgemeinen und zwischen zwei Computern im speziellen üblich ist. Weil diese Art von Information keinerlei strukturelle Veränderungen der Destination bewirkt, kann sie höchstens für ein belebtes Individuum als Benutzer der Maschine Neuigkeiten enthalten, nicht aber für den Automaten selber. Auf der anderen Seite kann nur dann von strukturerweiternder Information gesprochen werden, wenn tatsächlich neue Strukturteile in die bestehenden Strukturen der Destination eingeordnet werden. Damit wird wiederum die Anzahl möglicher Nachrichten vergrössert, die die Destination danach als Informationsquelle aussenden kann, was gemäss den Erkenntnissen aus Kapitel 2.1 eine Zunahme ihres Informationsgehalts bewirkt.

4.4 Formale Definition

Die eben diskutierten Aussagen liefern insgesamt die Fundamente für ein neues Konzept einer Informationstheorie, die die verschiedenen Ansätze der Vergangenheit vereinigen und deren Mängel beheben will. Eine solche Theorie der Information muss sich jedoch in einer formallogischen Form präsentieren, wenn sie nicht abseits der modernen Informationstechnologie verharren, sondern aktiv an deren Weiterentwicklung teilhaben will. Deshalb sollen die bislang verbalen Bestimmungen nun formal nachvollzogen werden. Der Autor will damit aber nicht etwa behaupten, dass sich so komplexe Angelegenheiten wie Wissen, Lernen oder Denken tatsächlich mit einfachen mathematischen Formeln ausdrücken lassen. Die nachfolgend aufgeführten Definitionen, die sich an die Ausdrucksweise der Lehrbücher [Halmos 1976] und

[Wechler 1992] anlehnen, sollen lediglich die Fundamente für das Modell einer neuen Informationstheorie bilden.

4.4.1 Grunddefinitionen

Die Erkenntnisse aus Kapitel 3.3 deuten darauf hin, dass die Frage, ob es irgendwelche Dinge apriori gibt, für ein Individuum vermutlich nicht entscheidbar ist, da alle Dinge der sogenannten Realität und der Vorstellungswelt von den Gehirnen irgendwelcher Individuen konstruiert werden. Der formale Aufbau einer Informationstheorie, die auf den in dieser Arbeit entwickelten Vorgaben basiert, erfordert es aber, die Dinge als Grundlage einer solchen Theorie unabhängig vom Individuum zu entwerfen. In diesem Sinne wird das erste Problem darin bestehen, eine Menge aller mutmasslichen Apriori-Dinge zu skizzieren.

Um dies zu erreichen, werden wir im Rahmen einer ersten Definition einen weit gefassten Bereich an sogenannten Apriori-Grundeinheiten skizzieren, aus dem sich später die eben erwähnten Apriori-Dinge herausselektieren lassen. Das Definitionsgerüst dieser Apriori-Grundeinheiten beginnt mit der Festsetzung einer Menge G_0 von nicht weiter zu hinterfragenden Apriori-Atomen. Entsprechend den Feststellungen aus Kapitel 4.3 muss diese Menge sogleich in zweifacher Hinsicht ergänzt werden. Einmal fehlen in G_0 die wechselseitigen Beziehungen zwischen Elementen aus G_0 . Zudem müssen finite Teilmengen aus G_0 als Apriori-Grundeinheiten berücksichtigt werden, weil nur so Objekte, die aus anderen Apriori-Grundeinheiten aufgebaut sind, selber als Apriori-Grundeinheiten gelten können. Diese Zusätze werden in einer Menge G_1 berücksichtigt, die sich zusammensetzt aus der Vereinigung von G_0 mit der Menge von Paaren von Elementen aus G_0 und mit der finiten Potenzmenge von G_0 . Damit sind wir noch nicht am Ziel angelangt, denn auch die Menge G_1 enthält noch nicht alle gewünschten Elemente einer Menge von Apriori-Grundeinheiten. In ihr fehlen wiederum die Beziehungen zwischen den Elementen aus G_1 sowie die finiten Teilmengen aus G_1 . Deshalb muss in analoger Weise eine Menge G_2 konstruiert werden, die ihrerseits von denselben Problemen heimgesucht wird wie die Mengen G_0 und G_1 . Auf diese Weise konstruieren wir einen Turm von Mengen G_n ($n \in \mathbb{N}$), wobei die Menge G_{n+1} stets jene Elemente enthält, die entsprechend dem vorab skizzierten Muster in G_n noch fehlen. Die Menge G aller 'Apriori-Grundeinheiten' ergibt sich schliesslich aus der Vereinigung aller derart konstruierten Mengen G_n . Der formale Aufbau dieser Menge G sieht demnach folgendermassen aus:

Def 1:

$$G_0 = \text{Menge aller 'Apriori-Atome'}$$

$$G_1 = G_0 \cup G_0 \times G_0 \cup P_{fin}(G_0)$$

$$G_2 = G_1 \cup G_1 \times G_1 \cup P_{fin}(G_1)$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$G_{n+1} = G_n \cup G_n \times G_n \cup P_{fin}(G_n)$$

Wir konstruieren also:

$$G = \bigcup_{n=0}^{\infty} G_n \quad \text{Menge aller 'Apriori-Grundeinheiten', und}$$

$$G_B = G - G_0 - \bigcup_{n=0}^{\infty} P_{fin}(G_n)$$

Menge aller '**gerichteten Beziehungen zwischen Elementen aus G**' derart, dass aus $g \in G_B$ folgt:
 $g = (b, c) = \{b, \{b, c\}\}$ mit $b, c \in G$.

Die Menge G umfasst nun bereits alles, was als Apriori-Ding in Frage kommt. Beispielsweise ist es mit Definition 1 möglich, die materiellen Bestandteile eines Klaviers als Apriori-Atome zu definieren und diese mit wechselseitigen Beziehungen derart zu verknüpfen, dass schliesslich das Klavier als Struktur be-

schrieben werden kann. Diese Struktur ist sodann selber ein Element der Menge G und damit eine Apriori-Grundeinheit, auch wenn es zuvor nicht als Apriori-Atom bestimmt wurde.

Die Menge G enthält indes viel mehr Elemente, als für die Beschreibung der Apriori-Dinge notwendig wäre. Hierzu werden nämlich nicht beliebige Teilmengen von G_n ($n \in \mathbb{N}$) benötigt, sondern bloss solche, deren Elemente insgesamt eine zusammenhängende, strukturierte Einheit darstellen. Das Ziel der nun folgenden Definitionen ist es also, Strukturen aus der Menge G , die selber aus Elementen dieser Menge zusammengesetzt sind, mathematisch beschreiben zu können. Der Begriff der Struktur wird in Nachschlagewerken beschrieben als 'Aufbau, Gefüge, Gliederung eines Ganzen, dessen Teile in räumlichen oder geistigen Beziehungen zueinander stehen' (vgl. [Knaurs 1974, Band 17, S. 5795]). Deshalb muss im folgenden gezeigt werden, wie sich zusammenhängende Strukturen aus Grund- und Beziehungselementen bilden können. Demgemäss lautet die nächste Definition wie folgt:

Def 2: **Direkte Verbundenheit apriori:** Die binäre Relation $E_\delta \subseteq G \times G$ sei definiert durch:

$$(a,b) \in E_\delta \Leftrightarrow (a,b) \in G_B \text{ oder } (b,a) \in G_B \text{ für } a, b \in G$$

Wir sagen, dass b '**direkt verbunden apriori**' ist mit a und umgekehrt, falls $(a,b) \in E_\delta$.

Die Analyse eines netzwerkartigen Verbundes von Apriori-Grundeinheiten untersucht nicht nur die direkten, sondern auch die indirekten Verbindungen apriori zwischen Elementen aus G . Man erinnere sich etwa an das Resultat der hirnbioologischen Lerntheorien, welches besagt, dass von der Wahrnehmung eines Objektes bis hin zu seiner Erkennung mehrere Neuronen in der Gedächtnisspur durchlaufen werden. Um dieses Phänomen in mathematische Vokabeln fassen zu können, muss in einem weiteren Schritt die indirekte Verbundenheit zweier Apriori-Grundeinheiten, deren Verbindung über weitere Apriori-Grundeinheiten führt, beschrieben werden:

Def 3: **Indirekte Verbundenheit apriori:** Sei E_1 die transitive Hülle von E_δ definiert durch:

$$(a,b) \in E_1 \Leftrightarrow \exists P = \{p_1, \dots, p_n\} \ (n \in \mathbb{N}), p_i \in G, \text{ so dass} \\ (a,p_1), (p_1,p_2), \dots, (p_{n-1},p_n), (p_n,b) \in E_\delta \\ \text{für } a, b \in G$$

Wenn also gilt: $(a,b) \in E_1$, dann ist b '**indirekt verbunden apriori**' mit a über die Elemente aus P in der angegebenen Reihenfolge. P ist in diesem Fall der Pfad von a nach b und umgekehrt.

Bisher wurden bloss Paare von Apriori-Grundeinheiten auf ihre wechselseitigen direkten respektive indirekten Verbindungen apriori hin untersucht. Damit kann indes eine Struktur, die ein netzwerkartiges Gebilde von paarweise miteinander verbundenen Apriori-Grundeinheiten bildet, noch nicht hinreichend beschrieben werden. Aus diesem Grunde wird die folgende Definition notwendig:

Def 4: Die Menge $Z \subset G$ heisst '**apriori zusammenhängend**', falls für jedes Paar $z_1, z_2 \in Z$ gilt: $(z_1,z_2) \in E_1|_Z = E_1 \cap Z \times Z$. Zudem gilt für den dazwischen liegenden Pfad $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ ($n \in \mathbb{N}$):

- $P \subset Z$
- $(z_1,p_1), (p_1,p_2), \dots, (p_{n-1},p_n), (p_n,z_2) \in E_\delta|_Z = E_\delta \cap Z \times Z$
- $(z_1,p_1), (p_1,p_2), \dots, (p_{n-1},p_n), (p_n,z_2) \in Z$.

Das heisst, jedes Paar $z_1, z_2 \in Z$ muss indirekt verbunden apriori sein, wobei der Pfad inklusive der Verbundenheitsbeziehungen in Z liegen müssen. Wir nennen jede apriori zusammenhängende Menge Z eine '**Apriori-Struktur**'.

Mit dieser Definition lassen sich nun strukturierte Apriori-Gegenstände als Einheiten formal beschreiben: Ein strukturierter Apriori-Gegenstand Z kann mathematisch als finite apriori zusammenhängende Teilmenge von G betrachtet werden. Mit dieser Erkenntnis lässt sich nun die Menge der Apriori-Dinge A konstruieren. Analog zur Menge G aller Apriori-Grundeinheiten geschieht die Grundlegung von A über die Menge $A_0 = G_0$ aller Apriori-Atome. Entsprechend dem Muster aus Definition 1 wird basierend auf A_0 ein Turm von Mengen A_{n+1} ($n \in \mathbb{N}$) konstruiert, die sich je zusammensetzen aus der Vereinigung der Menge A_n mit der Menge von Paaren von Elementen aus A_n und mit der Menge aller finiten apriori zusammenhängenden Teilmengen von A_n . Die Menge A aller Apriori-Dinge ergibt sich sodann aus der Vereinigung aller Mengen A_n . Die formale Definition des besagten Sachverhaltes ist demnach wie folgt festzuhalten:

Def 5: Sei $\wp_{\text{zus}}(X) = \{Z \in \wp_{\text{fin}}(X) \mid Z \text{ ist apriori zusammenhängend}\}$ so gilt für die Menge A aller Apriori-Dinge:

$$A_0 = G_0 = \text{Menge aller 'Apriori-Atome'}$$

⋮

$$A_{n+1} = A_n \cup A_n \times A_n \cup P_{\text{zus}}(A_n)$$

Wir konstruieren also:

$$A = \bigcup_{n=0}^{\infty} A_n \text{ Menge aller 'Apriori-Dinge', und}$$

$$A_B = A - A_0 - \bigcup_{n=0}^{\infty} P_{\text{zus}}(A_n)$$

Menge aller **'gerichteten Apriori-Beziehungen zwischen Elementen aus A'** derart, dass aus $a \in A_B$ folgt:

$$a = (b,c) = \{b, \{b,c\}\} \text{ mit } b, c \in A.$$

Die Menge A umfasst nun alle Elemente, die als Apriori-Dinge in Frage kommen, das heisst: Neben den Apriori-Atomen umfasst A auch gerichtete Apriori-Beziehungen sowie alle möglichen Apriori-Strukturen. In Kapitel 3.1 wurde festgestellt, dass jedes nicht atomare Ding und damit auch jedes nicht atomare Apriori-Ding einen inneren Aufbau hat, der durch sogenannte $r_{\text{syntaktische}}$ Beziehungen festgelegt wird. Darüber hinaus kommt jedem Ding ein Bedeutungsraum zu, der mit $r_{\text{semantischen}}$ Beziehungen angegeben wird. Dieser Sachverhalt soll durch die folgende Definition wiedergegeben werden:

Def 6: Sei $c = (a,b) \in A_B$ mit $a, b, \in A$, dann nennen wir c eine **'r_semantische Beziehung apriori'** bezüglich a und eine **'r_syntaktische Beziehung apriori'** bezüglich b .

Des weiteren sei $RSEA(a) = \{c \in A_B \mid \exists b \in A \text{ mit } c = (a,b)\}$ die **'r_semantische Hülle apriori'** von $a \in A$ und $RSYA(b) = \{c \in A_B \mid \exists a \in A \text{ mit } c = (a,b)\}$ die **'r_syntaktische Hülle apriori'** von $b \in A$.

Mit Definition 6 bilden wir die in Kapitel 3.1 postulierte These der Arbeit ab, wonach eine gerichtete Beziehung, abhängig davon, ob deren Anfangs- oder deren Endpunkt im Zentrum der Analyse steht, einmal als $r_{\text{semantisch}}$ und ein anderes Mal als $r_{\text{syntaktisch}}$ interpretiert werden kann⁽³⁹⁾. Damit existieren bereits die Grundlagen, um das Ding als Basis einer mathematisch konstituierten Definition der Information bestimmen zu können.

⁽³⁹⁾ Hierbei muss angemerkt werden, dass in der mathematischen Logik die Begriffe Syntax und Semantik anders verwendet werden als in der vorliegenden Arbeit.

4.4.2 Information als strukturierter Gegenstand

Die strukturell-attributiven Informationstheorien beschreiben die Information als strukturierten Gegenstand, der Teile seiner inneren Struktur als Information aussenden kann und dessen Struktur selber durch Prozesse, die meistens als Informationsvorgänge bezeichnet werden, verändert werden kann. Die vorangehenden Kapitel haben aufgezeigt, dass eine Beschreibung der Information im allgemeinen und der Information als strukturierter Gegenstand im speziellen auf das in Kapitel 3.1 skizzierte und später in Kapitel 4.3 entworfene Ding zurückzuführen ist. Ein solches Ding ist im Unterschied zum zuvor postulierten Apriori-Ding individuell und zeitgebunden, denn es ist aufzufassen als Konstrukt eines individuellen Gehirns. Darüber hinaus kommt dieser Art Ding ein Wert zu, der eine quantitative Aussage enthält bezüglich der Anzahl (kognitiver) Zugriffe des Individuums auf das als Hirnkonstrukt zu verstehende Ding zum Zwecke der Generierung einer Nachricht an seine Umgebung (vgl. Definition 10). Die Menge D derartiger Dinge hat deshalb das folgende Profil:

Def 7: Sei $I \subset A$ eine Menge, die wir als die Menge aller belebten Individuen interpretieren, die befähigt sind, die in Definition 5 postulierten Apriori-Dinge zu erfassen, d. h. sie als solche zu konstruieren. Sei weiter \mathfrak{R}_0^+ die Menge der positiven reellen Zahlen inklusive 0 und \underline{N}_0 die Menge der natürlichen Zahlen inklusive 0. Die '**Menge D aller Dinge**' wird definiert durch:

$$D = \{d \mid d \in A \times I \times \mathfrak{R}_0^+ \times \underline{N}_0\}$$

Ein Ding $d \in D$ ist also ein 4-Tupel (a, i, t, s) , mit:

- a = das zu d korrespondierende Apriori-Ding,
- i = das Individuum, welches d konstruiert,
- t = der Konstruktionszeitpunkt von d , wobei der Nullpunkt $t_0 = 0$ arbiträr auf den Ursprung des Universums, besser bekannt unter dem Namen Urknall, gesetzt wird, und
- s = der Selektionszähler mit Initialwert 0, der angibt, wie oft das Ding d zur Generierung einer Nachricht beigezogen wurde (vgl. Kapitel 4.4.3).

Des weiteren gilt für die Menge $D_B \subset D$ aller Beziehungen:

$$D_B = \{d \mid d \in A_B \times I \times \mathfrak{R}_0^+ \times \underline{N}_0\}$$

Mit Definition 7 wird D als die Menge aller Dinge d festgelegt, die von beliebigen Individuen $i \in I$ konstruiert werden können. Hierzu gilt es festzuhalten, dass jedes Individuum i grundsätzlich jedes Apriori-Ding $a \in A$ als Ding erfassen kann, was mit den ersten beiden Komponenten von d festgehalten wird. Die dritte Komponente von d dient zur Abbildung des Faktums, dass dasselbe Apriori-Ding a vom selben Individuum i zu verschiedenen Zeitpunkten t erfasst werden kann. Jedem $d \in D$ ist ausserdem ein sogenannter Selektionszähler $s \in \underline{N}_0$ eigen, der jedes Mal, wenn d an der Generierung einer Nachricht teil hat, um die Zahl 1 inkrementiert wird. Mit dieser Struktur eines Dings wird es mitunter möglich, dass sich zwei unterschiedliche Dinge $d, e \in D$ mit $d \neq e$, wobei $d = (a, i, t_d, s_d)$ und $e = (a, i, t_e, s_e)$, die vom selben Individuum konstruiert werden können, auf dasselbe Apriori-Ding beziehen. Der Unterschied zwischen d und e liegt in den differierenden Konstruktionszeitpunkten t_d und t_e und in den ungleichen Werten der Selektionszähler s_d und s_e .

Diese Schilderungen machen deutlich, dass die Menge D aus der Vereinigung der Erkenntnisse aller Individuen $i \in I$ besteht. Die Ausführungen der früheren Kapitel haben indessen gezeigt, dass eine Informationstheorie nur individuell, das heisst einzig basierend auf den von einem Individuum $i \in I$ und den von ihm konstruierbaren Dingen $D(i)$ aufbauen kann. Diese Menge, die in den anschliessenden Definitionen eine ausgezeichnete Rolle spielen wird, ist folgendermassen definiert:

Def 8: Sei $i_0 \in I$, dann ist die '**Menge $D(i_0)$ aller vom Individuum i_0 konstruierbaren Dinge**' definiert durch:

$$D(i_0) = D \cap A \times \{i_0\} \times \mathbb{R}^+_0 \times \underline{\mathbb{N}}_0$$

oder anders ausgedrückt:

$$D(i_0) = \{d \in D \mid d = (a, i_0, t, s) \text{ für geeignete } a \in A, t \in \mathbb{R}^+_0, s \in \underline{\mathbb{N}}_0\}$$

Des weiteren ist die Menge $D_B(i_0) \subset D(i_0)$ aller Beziehungen, die von i_0 konstruierbar sind, definiert durch:

$$D_B(i_0) = D \cap A_B \times \{i_0\} \times \mathbb{R}^+_0 \times \underline{\mathbb{N}}_0$$

Weil die Menge $D(i)$ alle Dinge enthält, die vom Individuum i konstruierbar sind, repräsentiert $D(i)$ gleichsam das Wissen von i . Die Menge $D(i)$ kann grundsätzlich zu jedem Apriori-Ding $a \in A$ ein oder mehrere korrespondierende Dinge $d \in D(i)$ enthalten. Damit wird in $D(i)$ mitunter das Vorhandensein von Strukturen nach dem Muster der Apriori-Strukturen von Definition 4 denkbar. Da $D(i)$ indes komplexer aufgebaut ist als A , müssen die Definitionen 2-4 sowie Definition 6 der neuen Situation angepasst werden. Als erstes sei deshalb die direkte Verbundenheit zwischen zwei Dingen neu bestimmt:

Def 2*: **Direkte Verbundenheit:** Sei $b, c \in D(i)$ mit $b = (a_b, i, t_b, s_b)$ und $c = (a_c, i, t_c, s_c)$. Die binäre Relation $E_{\Delta}(i) \subseteq D(i) \times D(i)$ mit $i \in I$ sei definiert durch:

$$(b, c) \in E_{\Delta}(i) \Leftrightarrow \begin{aligned} &((a_b, a_c), i, t, s) \in D_B(i) \text{ oder} \\ &((a_c, a_b), i, t, s) \in D_B(i) \end{aligned}$$

Wir sagen, dass c '**direkt verbunden**' ist mit b und umgekehrt, falls $(b, c) \in E_{\Delta}(i)$.

In analoger Weise passen wir die Definition der indirekten Verbundenheit der neuen Situation an:

Def 3*: **Indirekte Verbundenheit:** Sei $E_I(i)$ die transitive Hülle von $E_{\Delta}(i)$ definiert durch:

$$(b, c) \in E_I(i) \Leftrightarrow \exists \quad \begin{aligned} &P = \{p_1, \dots, p_n\} \quad (n \in \underline{\mathbb{N}}), p_i \in D(i) \text{ mit } i \in I, \\ &\text{so dass } (b, p_1), (p_1, p_2), \dots, (p_{n-1}, p_n), \\ &(p_n, c) \in E_{\Delta}(i) \text{ für } b, c \in D(i) \end{aligned}$$

Wenn also gilt: $(b, c) \in E_I(i)$, dann ist c '**indirekt verbunden**' mit b über die Elemente aus P in der angegebenen Reihenfolge und umgekehrt. P ist in diesem Fall der Pfad von b nach c respektive von c nach b .

Daraus ergibt sich gleichsam auf natürliche Weise die folgende Definition einer Informations-Struktur:

Def 4*: Die Menge $Z \subset G$ heisst '**zusammenhängend**', falls für jedes Paar $z_1, z_2 \in Z$ gilt: $(z_1, z_2) \in E_I(i)|_Z = E_I(i) \cap Z \times Z$. Zudem gilt für den dazwischen liegenden Pfad $P = \{p_1, \dots, p_n\} \quad (n \in \underline{\mathbb{N}})$:

- $P \subset Z$
- $(z_1, p_1), (p_1, p_2), \dots, (p_{n-1}, p_n), (p_n, z_2) \in E_{\Delta}(i)|_Z = E_{\Delta}(i) \cap Z \times Z$
- $(z_1, p_1), (p_1, p_2), \dots, (p_{n-1}, p_n), (p_n, z_2) \in Z$.

Das heisst, jedes Paar $z_1, z_2 \in Z$ muss indirekt verbunden sein, wobei der Pfad inklusive der Verbundenheitsbeziehungen in Z liegen müssen. Wir nennen jede zusammenhängende Menge Z eine '**Informations-Struktur**'.

Das durch $D(i)$ repräsentierte Wissen von i setzt sich also aus strukturierten Dingen, den sogenannten Informations-Strukturen, zusammen. Es bleibt nun noch die Anpassung von Definition 6, mit welcher der innere Aufbau und der Bedeutungsraum eines Dings beschrieben wird:

Def 6* : Sei $d = (a_d, i, t_d, s_d) \in D(i)$ mit $i \in I$, dann ist

- $RSE(d) = \{e = (a_e, i, t_e, s_e) \in D_B(i) \mid a_e \in RSEA(a_d)\}$ die '**r_semantische Hülle**' von d .
- $RSY(d) = \{c = (a_c, i, t_c, s_c) \in D_B(i) \mid a_c \in RSYA(a_d)\}$ die '**r_syntaktische Hülle**' von d .

Es versteht sich von selbst, dass jedes $e \in RSE(d)$ stets eine $r_semantische$ Beziehung von d weg hin zu einem anderen Ding und jedes $c \in RSY(d)$ eine $r_syntaktische$ Beziehung von einem anderen Ding her zu d darstellt.

Mit Definition 6* gelingt es nun, das Ding ähnlich, wie es in Kapitel 3.1 entworfen und in Figur 4 dargestellt wurde, mathematisch zu beschreiben: Allen Dingen $d \in D(i)$ mit $i \in I$ kommen auf diese Weise eine $r_syntaktische$ und eine $r_semantische$ Hülle zu. Darüber hinaus finden auch die Gedanken zur Pragmatik aus Kapitel 3.1 im hier entworfenen Definitionsgebäude Ansätze einer mathematisch formulierten Entsprechung. Die Tatsache, dass jedes Ding $d \in D(i)$ gemäss Definition 7 neben einem Verweis auf das Apriori-Ding a_d je einen Verweis auf das konstruierende Individuum i und auf den Konstruktionszeitpunkt t_d enthält, könnte sich dereinst zusammen mit dem Selektionszähler s_d , der gewissermassen eine Art 'Neigung des Individuums i zur Bekanntmachung von d ' ausdrückt, als Indikator zur Kennzeichnung des pragmatischen Momentes eines Dings erweisen. Wie weit aber die vier Komponenten eines Dings dazu geeignet sind, Kriterien für die Unterteilung der Beziehungshülle um d in eine essentielle und eine akzidentielle Hülle gemäss dem Vorschlag aus Kapitel 3.1 zu liefern, soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht mehr diskutiert werden, sondern Gegenstand der Erörterungen von möglichen Folgearbeiten sein.

Mit den Definitionen 1-8 wurde insgesamt ein Gerüst geschaffen, mit dem sich die strukturell-attributive Sichtweise der Information beschreiben lässt. Zusammen mit den in Punkt 4.2 aufgeführten Feststellungen ergeben die hier erworbenen Erkenntnisse die beiden nachstehenden Anmerkungen:

Anmerkung 1: Jedes Ding $x \in D$, das gemäss Def 4* eine Informations-Struktur ist, gilt genau dann als '**Informationsträger**', wenn $RSE(x) \neq \emptyset$.

Anmerkung 2: Ist ein Ding $x \in D$ gemäss Anmerkung 1 ein Informationsträger, dann ist jede Beziehung $c \in RSE(x)$ ein '**Informationselement**'.

Die strukturell-attributive Information kann somit als nichttriviale Informations-Struktur bezeichnet werden, deren $r_semantische$ Hülle nicht leer ist. Auf diese Weise lässt sich sowohl die Struktur der Aussenwelt als auch die Struktur des individuellen Wissens formal umschreiben. Die Mächtigkeit einer solchen Informations-Struktur Z , das heisst die Anzahl Elemente von Z , wird gemäss [Halmos 1976, S. 118] mit $CARD(Z) = |Z|$ ausgedrückt.

4.4.3 Information als Vorgang

Die funktionell-kybernetischen Informationstheorien beschreiben die Information als Vorgang V , welcher Informations-Strukturen im allgemeinen und Wissen im speziellen über die Zeit hinweg verändert. Eine Informations-Struktur Y etwa, die zum Zeitpunkt t_1 informiert wird, hat gemäss Kapitel 4.3 zum Zeitpunkt $t_2 > t_1$ eine grössere Mächtigkeit als zum Zeitpunkt $t_0 < t_1$. Dieser Vorgang V soll im Folgenden am Modell des universellen Kommunikationssystems aus Figur 6 verstanden werden, das heisst als Vorgang, in dessen Verlauf eine Nachricht von einer Informationsquelle erzeugt wird und danach über einen Kanal hin zu einer Destination übertragen wird, die ihrerseits die Struktur dieser Nachricht anschliessend in ihre eigene Struktur einordnet. Alle Komponenten dieses Modells, das heisst die Nachricht, die Informationsquelle, der Kanal sowie die Destination, werden dabei als wechselseitig unabhängige Informations-Strukturen gemäss Definition 4* betrachtet, die von einem Individuum $i \in I$ in seiner Rolle als externer

Beobachter der Situation konstruiert werden. Es versteht sich von selbst, dass sowohl die Informationsquelle als auch die Destination belebte Wesen repräsentieren können, die in ihrer Rolle als Komponenten des universellen Kommunikationssystems durch das Individuum i beobachtet werden.

Der erfolgreiche Abschluss eines solchen Informationsvorgangs stellt selbstverständlich gewisse Anforderungen an die innere Struktur der Destination. Diese muss nämlich in jedem Fall gewisse strukturelle Gemeinsamkeiten mit der Nachricht aufweisen. Beispielsweise dürfte es schwer sein, ein deutschsprachiges Individuum mit einer auf chinesisch verfassten Nachricht zu informieren. Es stellt sich mit anderen Worten die Frage, wie zwei beliebige Informations-Strukturen qualitativ miteinander derart verglichen werden können, dass Abweichungen und Gemeinsamkeiten sichtbar werden:

Def 9: Seien $X, Y \in D(i)$ mit $i \in I$ zwei Informations-Strukturen und sei weiter $x = (a_x, i, t_x, s_x) \in X$ und $y = (a_y, i, t_y, s_y) \in Y$, dann gilt:

- Die beiden Dinge x und y heissen '**äquivalent**', falls $a_x = a_y$, das heisst falls x und y auf dasselbe Apriori-Ding verweisen. Wir notieren dieses Faktum mit $x \sim y$.
- Die Menge $SG_{X,Y} \subset X$ heisst die '**strukturelle Gemeinsamkeit**' von X gegenüber Y , falls gilt: $SG_{X,Y} = \{x \in X \mid \exists y \in Y \text{ mit } x \sim y\}$.
- Schliesslich heisst die Menge $SD_{X,Y} = X - SG_{X,Y}$ die '**strukturelle Differenz**' von X gegenüber Y .

Die Aussagen von Definition 9 gelten selbstverständlich für sämtliche Informations-Strukturen aus D . Falls nun die beiden Informations-Strukturen X und Y intelligente Lebewesen repräsentieren, können die Aussagen dieser Definition wie folgt interpretiert werden: Die Menge $SG_{X,Y}$ steht für das Aprioriwissen von X gegenüber Y und $SD_{X,Y}$ für die relative Wissensdifferenz von X gegenüber Y . Auf der anderen Seite bezeichnet $SG_{Y,X}$ das Aprioriwissen von Y gegenüber X und $SD_{Y,X}$ die relative Wissensdifferenz von Y gegenüber X .

Während des Verlaufs eines Informationsvorgangs spielt die Nachricht N eine zentrale Rolle. Mit ihr wird ein Strukturteil S einer Informationsquelle X in kodierter Form an eine Destination Y übermittelt. Eine solche Nachricht muss keine direkten Entsprechungen zu S innehaben, es muss aber eine eindeutig konstituierte Übersetzungsvorschrift von S in N und umgekehrt vorliegen, die sowohl der Informationsquelle als auch der Destination bekannt ist. So gibt es beispielsweise keinerlei Grund, weshalb die Schallwellen eines gesprochenen Wortes mit dessen intendierten Aussage korrespondieren sollten. Eine Übereinstimmung ergibt sich erst aufgrund der Sprachkenntnis, mit der notwendigerweise eine Übersetzungsvorschrift von Schallwellenfolgen in Wörter und umgekehrt einher geht. Die Nachricht N darf des weiteren keine strukturelle Differenz zu S aufweisen, denn N kann in keinem Fall mehr enthalten, als die Informationsquelle X bezüglich des durch N referenzierten Sachverhaltes S weiss. Jede Generierung einer Nachricht N hat überdies die Inkrementierung des Selektionszählers s_S der Informations-Struktur S um die Zahl 1 zur Folge. Schliesslich ist N als Produkt der sie erzeugenden Informations-Struktur X stets mit S durch eine gerichtete Beziehung $b \in D_B(i)$ verbunden. Wir erhalten demnach die folgende Definition einer Nachricht:

Def 10: Sei $N, S \in D(i)$ mit $i \in I$, wobei sowohl N als auch S Informations-Strukturen sind. Wir nennen N eine '**Nachricht**' von S , wenn gilt:

- Es gibt ein $b \in D_B(i)$ mit $b \in RSE(S) \wedge b \in RSY(N)$.
- $SD_{N,S} = \emptyset$.
- Der Selektionszähler s_S der Informations-Struktur S wird um die Zahl 1 inkrementiert.

Des weiteren sei $NA(S) = \{N \in D(i) \mid N \text{ ist Nachricht von } S\}$ die Menge aller Nachrichten von S und weiter $NB(S) = \{b \in D_B(i) \mid b \in RSE(S) \wedge b \in RSY(N) \forall N \in NA(S)\} \subseteq RSE(S)$ die Menge aller Beziehungen von S zu seinen Nachrichten.

Mit Definition 10 werden bloss formale Anforderungen an eine Nachricht gestellt, nicht aber inhaltliche. In der Tat ist sowohl die Interpretation eines in einem geeigneten Medium kodierten Wissenselementes einer belebten Informationsquelle als Nachricht an die ihr gegenüberliegende Destination als auch die Auslegung eines herabfallenden Ziegels als 'Nachricht' eines durch ein Unwetter in Mitleidenschaft gezogenen Dachs an seine Umwelt denkbar. Da im weiteren Definition 10 nur vorgibt, dass die strukturelle Differenz von N zu S leer sein muss und nicht umgekehrt, kann grundsätzlich jedes Element von S als Nachricht generiert werden, was sich wiederum bestens verträgt mit der Beobachtung, dass ein belebtes Wesen alles, was es weiss, jederzeit und beliebig kombiniert seiner Umgebung als Nachricht mitteilen kann.

Die Tatsache, dass eine Informations-Struktur $N \in D(i)$ dann eine mögliche Nachricht einer anderen Informations-Struktur $S \in D(i)$ sein kann, wenn ein Beziehungselement $b \in RSE(S)$ existiert, für das zugleich gilt, dass $b \in RSY(N)$, lässt die Vermutung aufkommen, dass alle Informations-Strukturen $T \in D(i)$, die durch ein Element b' aus $RSE(S)$ referenziert werden, auch als mögliche Nachricht von S gelten könnten. Dazu müsste aber für jedes dieser T gelten: $SD_{T,S} = \emptyset$, was im allgemeinen nicht zutreffen dürfte. Indes wird es für jedes derartige T eine Informations-Struktur $T' \in T$ geben, das dem eben entworfenen Kriterium entspricht. Um hierzu ein Beispiel zu nennen, sei $S \in D(i)$ als Individuum und $T \in D(i)$ als Auto, das von S benutzt wird, gedacht. Unter der Einschränkung, dass S kein Experte bezüglich der Struktur von T ist, wird ihm diese nie bis ins letzte Detail bekannt sein. Wohl wird es aber eine Unterstruktur $T' \in T$ wie etwa die äussere Form des Fahrzeuges geben, die S derart kennt, dass es darüber ein anderes Individuum informieren kann. Falls $T' \supset \emptyset$, dann steht T' für eine mögliche Nachricht. Falls andererseits $T' = \emptyset$, etwa weil $SG_{S,T} = \emptyset$, dann kann keine nichtleere Nachricht aufgrund $b' \in RSE(S) \cap RSY(T')$ generiert werden, was aber nicht weiter störend ist, sondern einzig einen Grenzfall markiert. Wir formulieren deshalb den folgenden Satz:

Satz 1: Sei $S \in D(i)$ mit $i \in I$ eine Informations-Struktur und sei weiter $b \in RSE(S)$ und $b \in RSY(T)$ für ein geeignetes $T \in D(i)$, dann gibt es eine Informations-Struktur $T' \in T$ mit $SD_{T',S} = \emptyset$.

Beweis: Aufgrund von Definition 9 folgt

$$\exists T' \in SG_{T,S} \text{ mit } SD_{T',S} = \emptyset \quad \text{q. e. d.}$$

Ein Informationsvorgang, bei dem eine Destination $Y \in D(i)$ durch eine Informationsquelle $X \in D(i)$ informiert wird, kann nun als Vorgang betrachtet werden, der die strukturelle Differenz $SD_{X,Y}$ der Destination gegenüber der Informationsquelle vermindert und gleichzeitig die neuen Elemente in die Wissensstruktur von Y derart einordnet, dass Y danach wieder eine Informations-Struktur darstellt. Die nächste Definition lautet demnach folgerichtig:

Def 11: Seien $X(t_1), Y(t_1) \in D(i)$ mit $i \in I$ zwei Informations-Strukturen zum Zeitpunkt t_1 mit $SD_{X,Y}(t_1) \neq \emptyset$, dann gilt:

- Ein Element $x \in X(t_1)$ heisst zum Zeitpunkt $t_2 > t_1$ in $Y(t_2)$ '**eingeorndet**', wenn gilt: $Y(t_2)$ ist eine Informations-Struktur sowie $x \in SD_{X,Y}(t_1)$ und $x \notin SD_{X,Y}(t_2)$. Wir notieren dieses Faktum mit $Y(t_2) = Y(t_1) \downarrow \{x\}$.
- Die Menge $X(t_1)$ heisst zum Zeitpunkt $t_2 > t_1$ in $Y(t_2)$ '**partiell eingeorndet**', wenn gilt: $Y(t_2)$ ist eine Informations-Struktur und $SD_{X,Y}(t_1) \supset SD_{X,Y}(t_2) \neq \emptyset$. Wir notieren dieses Faktum mit $Y(t_2) = Y(t_1) \downarrow (X(t_1) - SD_{X,Y}(t_2))$.
- Die Menge $X(t_1)$ heisst zum Zeitpunkt $t_2 > t_1$ in $Y(t_2)$ '**vollständig eingeorndet**', wenn gilt: $Y(t_2)$ ist eine Informations-Struktur und $SD_{X,Y}(t_2) = \emptyset$. Wir notieren dieses Faktum mit $Y(t_2) = Y(t_1) \downarrow X(t_1)$.

Die vollständige Einordnung einer Menge $X(t_1)$ in die Menge $Y(t_2)$ mit $t_2 > t_1$ kann demnach derart verstanden werden, dass alle Elemente von $X(t_1)$, die noch kein Äquivalent in $Y(t_1)$ haben, durch die

vollständige Einordnung ein solches erhalten. Der Informationsvorgang selber kann daher auf folgende Weise dargestellt werden:

Def 12: Seien $X(t_1), Y(t_1) \in D(i)$ mit $i \in I$ zwei Informations-Strukturen zum Zeitpunkt t_1 und sei $N \in D(i)$ eine Nachricht von $X(t_1)$. Der '**Informationsvorgang**' $V(N, Y(t_1))$, der zum Zeitpunkt t_1 die Nachricht N von $X(t_1)$ nach $Y(t_1)$ überträgt, bewirkt zum Zeitpunkt $t_2 > t_1$ folgendes:

- $Y(t_2) = Y(t_1) \sqcup N$.
- $\exists b \in D_B(i)$ mit $b \in RSE(Y(t_2)) \wedge b \in RSY(N)$ sowie $b \notin RSE(Y(t_1))$.

Wir nennen dabei $SZ(V(N, Y(t_1))) = Y(t_2) - Y(t_1)$ den '**tatsächlichen Strukturzuwachs**' von $Y(t_2)$ aufgrund des Informationsvorgangs $V(N, Y(t_1))$.

Mit Definition 12 werden zwei wichtige Eigenschaften der Information eingefangen: Erstens wird zum Ausdruck gebracht, dass eine Nachricht, die durch einen Informationsvorgang einer Destination eingeordnet wird, von dieser wieder als Nachricht erzeugt werden kann. Zweitens macht Definition 12 deutlich, dass ein Informationsvorgang nur dann nichttrivial, das heisst strukturverändernd sein kann, wenn gilt: $N, SZ(V(N, Y(t_1))) \neq \emptyset$. Daraus lässt sich der folgende Satz ableiten:

Satz 2: Seien $X(t_1), Y(t_1) \in D(i)$ mit $i \in I$ zwei Informations-Strukturen zum Zeitpunkt t_1 und sei $N \in D(i)$ eine Nachricht von $X(t_1)$. Nach jedem Informationsvorgang $V(N, Y(t_1))$, der zum Zeitpunkt t_1 die Nachricht N von $X(t_1)$ nach $Y(t_1)$ überträgt, gilt:

$$\text{CARD}(RSE(Y(t_2))) \geq \text{CARD}(RSE(Y(t_1))) \text{ mit } t_2 > t_1$$

D. h. der Informationsvorgang $V(N, Y(t_1))$ hat zur Folge, dass die Kardinalität der r -semantischen Hülle der Informations-Struktur $Y(t)$ und damit die Kapazität, Nachrichten zu bilden, steigt oder gleich bleibt.

Beweis: Nach Definition 12 folgt:

$$RSE(Y(t_2)) \supseteq RSE(Y(t_1)) \cup \{b\} \quad (\text{ mit } b \in RSE(Y(t_2)) \wedge b \in RSY(N))$$

Daraus folgt auf triviale Weise die Aussage von Satz 2!

Satz 2 besagt demnach, dass bei jedem Informationsvorgang die Kardinalität der Zielstruktur wächst oder gleich bleibt. Weil diese Aussage auch für die geistige Informierung gilt, ist diese Art des Informationsvorgangs stets mit einem Wissenszuwachs respektive -gleichstands, nie aber mit einer Wissensabnahme des Zielsystems verbunden. Diese Aussage steht im Einklang mit dem in Kapitel 4.3 gezeichneten und anhand eines Beispiels erläuterten Informationsmodell.

4.4.4 Ein Mass der Information

Zum Abschluss der formalen Definition des Informationsbegriffs stellt sich die Frage nach einem formalen Mass der Information. Genau genommen fragen wir nach einem Mass des Gehalts an Information eines Informationsträgers. Da nach Anmerkung 1 eine Informations-Struktur S genau dann als Informationsträger bezeichnet wird, wenn $RSE(S) \neq \emptyset$, das heisst, wenn dessen r -semantische Hülle nicht leer ist, und weil nach Satz 1 genau die Elemente aus $RSE(S)$ auf die möglichen Nachrichten von S verweisen, muss dieses Mass folgerichtig eine quantitative Aussage über die r -semantische Hülle von S machen. Ein solches Mass muss grösser werden mit steigender Kardinalität von $RSE(S)$, und es muss die Elemente von $RSE(S)$ gewichtet nach der Wahrscheinlichkeit, Bestandteil einer Nachricht zu sein, berücksichtigen können. Diese Anforderungen werden aber mit Shannons Formel des Informationsgehaltes H aus Formel 1 erfüllt, wie dem Inhalt von Kapitel 2.1.2 zu entnehmen ist.

Ein erstes Problem, das es nun folgerichtig zu lösen gilt, ist die Bestimmung der oben erwähnten Selektionswahrscheinlichkeit der Elemente der r _semantischen Hülle einer Informations-Struktur S . Die Grunddaten hierzu sind bereits in der Struktur dieser Elemente vorhanden, denn der Selektionszähler s_b jeder Beziehung $b \in RSE(S)$ enthält einen auf empirischem Weg entstandenen Wert, der die Selektionshäufigkeit von b als Bestandteil einer Nachricht ausdrückt. Die Berechnung der Selektionswahrscheinlichkeit $q(b)$ im Vergleich mit den übrigen Elementen von $RSE(S)$ geschieht nun dadurch, dass s_b durch die Summe aller s_c mit $c \in RSE(S)$ geteilt wird, wie der folgenden Definition zu entnehmen ist:

Def 13: Sei $S \in D(i)$ mit $i \in I$ eine Informations-Struktur und sei weiter $b = (a_b, i, t_b, s_b) \in RSE(S)$. Die Funktion $q: RSE(S) \rightarrow [0, 1]$ sei definiert durch:

$$q(b) = \frac{s_b}{\sum_{c \in RSE(S)} s_c}$$

Wir nennen $q(b)$ die '**Selektionswahrscheinlichkeit**' der Beziehung $b \in RSE(S)$ im Vergleich mit den übrigen Beziehungen $c \in RSE(S)$.

Damit existieren die Grundlagen zur Bestimmung eines Masses des Informationsgehalts gemäss der folgenden Definition:

Def 14: Sei $S \in D(i)$ mit $i \in I$ eine Informations-Struktur und sei weiter $b = (a_b, i, t_b, s_b) \in RSE(S)$, dann gilt:

$$H(S) = -K \sum_{b \in RSE(S)} q(b) \log q(b) \quad \text{Formel 4}$$

$H(S)$ heisst der '**Informationsgehalt**' respektive die **Entropie** des Dings S .

Auf diese Weise lässt sich für jede Informations-Struktur S der ihr eigene Informationsgehalt berechnen, unabhängig von der Rolle, die sie in einem Informationsvorgang spielt. Der so berechnete Informationsgehalt von S gibt gemäss Definition 14 in erster Linie ein Mass für die Mächtigkeit der r _semantischen Hülle von S ab, was auch als Mass des 'semantischen Gehalts' einer Informations-Struktur verstanden werden könnte. Shannon hat folglich mit seiner Formel zur Berechnung des Informationsgehaltes gleichsam die Grundlagen für ein Mass der 'Semantik' einer Informations-Struktur geschaffen, ohne dass es ihm bewusst war.

Die Tatsache, dass das Mass der Mächtigkeit der r _semantischen Hülle einer Informations-Struktur eine offenkundige Verwandtschaft mit dem thermodynamischen Entropiebegriff erkennen lässt (vgl. hierzu Kapitel 2.1), führt unweigerlich zur Frage, ob der in Definition 14 bestimmte Informationsgehalt auch einem Gesetz gehorcht, das dem zweiten thermodynamischen Hauptsatz ⁽⁴⁰⁾ verwandt ist. Ein solches Gesetz müsste den folgenden Wortlaut haben: Der Informationsgehalt nimmt in einem abgeschlossenen System mit der Zeit entweder zu, oder er bleibt gleich. Die Voraussetzungen zur Formulierung eines solchen Satzes sind bereits vorhanden. Einmal wird der in Kapitel 4.4.3 entworfene Begriff des Informationsvorgangs am Modell des universellen Kommunikationssystems von Figur 6 verstanden. Dieses Modell ist in sich abgeschlossen, denn die Störfaktoren einer Kommunikation sind mit der schematisch dargestellten Geräuschquelle bereits als Teil des Systems berücksichtigt. Darüber hinaus demonstriert Satz 2 auf Seite 77, dass die Kardinalität der r _semantischen Hülle einer Informations-Struktur Y zum Zeitpunkt t_2 (nach dem Informationsvorgang) verglichen mit jener zum Zeitpunkt t_1 (vor dem Informationsvorgang)

⁽⁴⁰⁾ Der zweite thermodynamische Hauptsatz besagt, dass die Entropie in einem abgeschlossenen System mit der Zeit entweder zunimmt oder gleich bleibt, jedoch nie abnimmt.

vergrössert wird oder gleich bleibt, in keinem Fall aber abnimmt. Aus diesem Grunde wird auch der Informationsgehalt $H(Y(t_2))$ nach jedem Informationsvorgang grösser als $H(Y(t_1))$, oder er bleibt gleich, wie die folgende mit '**Hauptsatz der Informationstheorie**' bezeichnete Konklusion beweist:

Satz 3: Seien $X(t_1), Y(t_1) \in D(i)$ mit $i \in I$ zwei Informations-Strukturen zum Zeitpunkt t_1 und sei $N \in D(i)$ eine Nachricht von $X(t_1)$. Sei weiter $V(N, Y(t_1))$ ein Informationsvorgang, der zum Zeitpunkt t_1 die Nachricht N von $X(t_1)$ nach $Y(t_2)$ überträgt mit $t_2 > t_1$, so dass danach ein $b' \in D(i)$ existiert mit $b' = (a_{b'}, i, t_{b'}, s_{b'}) \in RSE(Y(t_2)) \wedge b' \in RSY(N)$. Für einen derartigen Informationsvorgang gilt folgendes:

$$\Delta H \geq 0$$

Formel 5

Beweis:

$$\Delta H = H(Y(t_2)) - H(Y(t_1))$$

$$\text{nach Def 13, 14: } \Delta H = -K \left(\sum_{b \in RSE(Y(t_2))} q_b \log q_b - \sum_{b \in RSE(Y(t_1))} q_b \log q_b \right)$$

$$\text{nach Def 12, 14: } \Delta H \geq -K \left(\sum_{b \in RSE(Y(t_1))} q_b \log q_b + q_{b'} \log q_{b'} - \sum_{b \in RSE(Y(t_1))} q_b \log q_b \right)$$

$$\Rightarrow \Delta H \geq K * q_{b'} \log q_{b'}$$

$$\Rightarrow \Delta H \geq 0$$

q. e. d.

Damit zeigen die nicht trivialen Informationsvorgänge gemäss Definition 12 eine Affinität mit den irreversiblen physikalischen Vorgängen und entsprechend die trivialen Informationsvorgänge eine Affinität mit den reversiblen physikalischen Vorgängen.

4.5 Folgerungen

Die Ausführungen von Kapitel 4 haben insgesamt gezeigt, dass die Formulierung einer einheitlichen, alle bekannten Aspekte umfassenden Informationstheorie möglich ist. Damit wurde eo ipso demonstriert, dass die Ideen von Donald M. MacKay und Doede Nauta Jr., die eigene Informationstheorien für unterschiedliche Aspekte der Information postulieren, in eine falsche Richtung zielen. Gleichzeitig können wir feststellen, dass sich die drei Fragen von Abschnitt 2.4, welche die Grundzüge der Information, den Informationsträger und das Mass der Information zur Diskussion stellten, nun durch drei Entgegnungen mit dem folgenden Wortlaut ersetzen lassen:

- 1) Information ist weder ein Sammelbegriff für die Prozesse, die Wissen vergrössern, noch kann sie gleichgesetzt werden mit dem Wissen selber als Struktur. Beide Ansichten treffen bloss Teilaspekte der funktionell-kybernetischen respektive der strukturell-attributiven Sichtweise der Information, die ihrerseits Teilaspekte einer übergreifenden Informationstheorie darstellen. Darin wird die Information postuliert als die Menge aller Informationsträger und Informationselemente, was gleichbedeutend ist mit der Menge aller von beliebigen individuellen Gehirnen konstruierbaren Dinge und den dazwischen liegenden Beziehungen.
- 2) Der letzte Träger der Information ist weder das Bit₁ als Repräsentant der kleinsten Menge, aus welcher eine Auswahl möglich ist, noch ist es das Zeichen als kleinste Einheit der Wahrnehmung. Informationsträger ist vielmehr das einzelne Ding als Konstrukt eines Gehirns, womit selbstverständlich auch jene Entitäten, die als Bit₁ oder als Zeichen gelten, zu Informationsträgern werden. Die

Informationselemente schliesslich, die durch ein solches Ding getragen werden, entsprechen den Beziehungen, die vom Ding als Informationsträger hin zu anderen Dingen gerichtet sind.

- 3) Als Mass der Information empfiehlt sich die Anwendung des Shannonschen Entropiebegriffs auf die neue Informationstheorie. Dieses Mass wurde in Definition 14 mitunter als allgemeines Mass für die Mächtigkeit der r -semantischen Hülle eines Dings unabhängig von der Rolle, die es in einem Informationsvorgang spielt, postuliert. Der Gegenvorschlag zu Shannons Entropiebegriff aus Kapitel 2, nämlich MacKays deskriptiver Informationsgehalt der strukturellen Mächtigkeit eines Dings, darf indessen nicht als falsche Ansicht hingestellt werden. Dieses Masskonzept kann im Gegenteil als Alternative zur Entropie betrachtet werden, indem es ein Mass für die Mächtigkeit der r -syntaktischen Hülle eines Dings abgibt. Jedem MacKayschen Logon, das pro memoria die strukturelle Komponente eines Informationselementes darstellt, entspricht nämlich eine r -syntaktische Beziehung zu einem Ding hin. Das Metron, welches einen binären Wert als additiven Beitrag zum sogenannten Beleggewicht eines Logons verkörpert, und auch der Metronengehalt, der als ganzzahliger Wert die Summe aller Metronen eines Logons enthält und damit die Plausibilität dieses Logons markiert, haben kein direktes Äquivalent im Formalismus von Kapitel 4.4. Dieser Mangel wäre indessen einfach zu beheben, indem die Struktur des Dings aus Definition 7 um eine weitere Komponente zur Erfassung des Metronengehalts erweitert würde. Mit Hilfe dieser Komponente könnte dann der deskriptive Gehalt eines Dings entsprechend den Vorgaben aus [MacKay 1969, S. 156 ff.] berechnet werden. Der Grund, weshalb dem Shannonschen Entropiebegriff gegenüber MacKays deskriptivem Informationsgehalt der Vorzug zu geben ist, liegt einmal darin, dass sich der Entropiebegriff in der praktischen Anwendung bestens bewährt und deshalb eine weite Verbreitung gefunden hat, wogegen der deskriptive Informationsgehalt heute beinahe in Vergessenheit geraten ist und praktisch nirgends mehr angewendet wird. Überdies lässt sich nach Ansicht des Autors die Informationstheorie mit einem verallgemeinerten Entropiebegriff besser in den heute üblichen naturwissenschaftlichen Kontext einbetten, als es mit einem verallgemeinerten deskriptiven Informationsgehalt möglich wäre.

Der theoretische Rahmen, der geeignet war, die eben verfassten Entgegnungen zu formulieren, lässt auch die Klärung weiterer, im Verlauf der Arbeit identifizierter, Schwierigkeiten zu. Beispielsweise findet die Frage nach der Persistenz der Information in der neuen Situation eine einfache Antwort. Die Aussage von Peter Heyderhoff und Theodor Hildebrand etwa, wonach die Information nach ihrer Auswertung ihren Wert verliere, weil sie bloss für eine Entscheidung gebraucht werde und deshalb nach der Entscheidung verbraucht sei (vgl. [Heyderhoff/Hildebrand 1973, S. 2]) kann auf diese Art nicht mehr formuliert werden. Da sowohl der Informationsvorgang als auch dessen Resultat bloss Aspekte der Information ausmachen, muss vielmehr festgestellt werden, dass der einzelne Informationsvorgang insgesamt eine Zunahme der Information bewirkt. Heyderhoff und Hildebrand behalten mit ihrer Äusserung nur dann recht, wenn sie damit die Feststellung meinen, dass sich die Wissensdifferenz der Destination bezüglich des Informationsgegenstands gegenüber der Informationsquelle nach dem Informationsvorgang verkleinert.

Ein ähnlich gelagertes Problem wurde von Donald M. MacKay aufgegriffen, nämlich die Frage, ob durch das mehrfache Kopieren von Textdokumenten wie etwa das Drucken von Zeitungen mehr Information entsteht, weil auf diese Weise derselbe Inhalt mehr Individuen erreichen kann, oder ob er gleich bleibt, weil durch das bloss Kopieren eigentlich nichts Neues entsteht? MacKay selber ist der zweiten Ansicht, denn er glaubt, dass beim Drucken von Zeitungen, unabhängig von der Anzahl der Exemplare, bloss wechselseitig redundante Kopien einer definierten Vorlage entstehen, die die fragliche Information in sich vereinigt. Entsprechend der Meinung, die in der vorliegenden Arbeit vertreten wird, muss indes der erste Standpunkt favorisiert werden. Jedes gedruckte Exemplar einer Zeitung ist für sich wieder ein Ding, das nach dessen Erzeugung unabhängig von den übrigen Exemplaren existiert. Mit jedem Exemplar wird sodann die Möglichkeit vergrössert, dass sich ein weiteres Individuum dessen Inhalts annehmen und damit selber zur Vermehrung der darin enthaltenen Information beitragen kann.

Eine weitere Schwierigkeit findet sich in der Konfusion um das Verhältnis der Shannonschen Informationstheorie zu den beiden semiotischen Dimensionen der Syntax und der Semantik. Shannon selber betrachtete die semantischen Aspekte der Kommunikation explizite als irrelevant für seine, am Kommunikationssystem von Figur 1 verstandene, Informationstheorie. Deshalb wurde die Shannonsche Theorie in vielen Beurteilungen als syntaktische Informationstheorie bezeichnet. Andere Forscher nahmen indessen Distanz zu dieser Auffassung. Doede Nauta etwa, der seine von semiotischem Gedankengut

durchdrungenen Ansichten bezüglich des Informationsbegriffs am I-System von Figur 2 entwickelt, vermisst in Shannons Kommunikationstheorie jeglichen Bezug zur Semiotik. Er empfindet es deshalb als grossen Fehler, in dieser Theorie die syntaktische Information behandelt zu sehen. Statt dessen schlägt Nauta vor, Shannons Werk als zero-semiotische Informationstheorie zu bezeichnen. Die syntaktische Information auf der anderen Seite sieht Nauta in der Theorie der deskriptiven Information von MacKay verwirklicht.

Die Betrachtungen der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, dass Nauta nur bezüglich seiner zweiten Ansicht recht behält. In der Tat könnte, wie weiter oben erläutert wurde, MacKays deskriptiver Informationsgehalt mit geringen konzeptionellen Anpassungen für die Berechnung des ($r_{\text{syntaktischen}}$) Strukturgehalts eines Dings herangezogen werden. Hingegen beruht Nautas Aberkennung jeglichen semiotischen Gehalts in Shannons Theorie auf einem einseitigen Verständnis der Semantik. Wird nämlich, wie in der vorliegenden Dissertation vorgeschlagen, eine Beziehung aufgrund ihrer Richtung bezüglich des analysierten Dings als $r_{\text{syntaktisch}}$ respektive als $r_{\text{semantisch}}$ bezeichnet, so erweist sich Shannons Entropiebegriff als Mass für die Mächtigkeit der $r_{\text{semantischen}}$ Hülle dieses Dings. Damit wird aber die Vermutung von Warren Weaver gestärkt, wonach sich das Shannonsche Informationskonzept und der Begriff der Bedeutung wie ein Paar kanonisch verbundener Variablen verhielten.

Eine zusätzliche Streitursache um den Informationsbegriff liegt in der Frage, ob sich die Information, wie Titze meint, ausschliesslich auf der geistigen Ebene vollziehe oder ob die Information gemäss Barwise und Perry in der Welt situiert sei als sogenannte Information über die strukturierte Realität, in Form von Beschränkungen zwischen den die Realitätsstruktur konstituierenden Situationstypen. Nach der hier vertretenen Meinung, wonach die Information als die Menge aller von beliebigen individuellen Gehirnen konstruierbaren Dinge zu betrachten sei, muss notwendigerweise Titzes Ansicht in diesem Punkt der Vorzug gegeben werden. Weil sich aber sowohl Beschränkungen als auch Situationstypen gleichsam als Hirnkonstrukte interpretieren lassen, finden indessen auch die wertvollen Erkenntnisse der Theorie der Situationssemantik von Barwise und Perry ihren Platz im neuen Informationskonzept.

Die Tatsache, dass die Information als geistiges Problem betrachtet werden kann, hat einige interessante Konsequenzen: So hat etwa die Sprache, die nach Barwise und Perry bloss Träger der Information ist, als Hirnkonstrukt eine ähnliche Aufbaustruktur wie die Dinge der Aussenwelt und kann demnach auf ähnliche Art in die neue Informationstheorie eingebaut werden. Dies gilt in gleicher Weise für die wortsprachlichen Sätze als geordnete Sequenzen von wohldefinierten Vokabeln wie für deren Inhalt, der sich gewöhnlich auf andere kognitive Erzeugnisse des formulierenden Gehirns bezieht. Diese kognitiven Erzeugnisse sind entweder Abbilder der erfassten Realität, oder sie sind reine Erfindungen des individuellen Gehirns. Zu letzteren gehören mitunter theoretische Schlüsse, die auf wissenschaftlich fundierten Grundlagen basieren, aber auch solche, die auf frei erfundenen oder bewusst verfälschten Fundamenten gründen. So kann etwa die Aussage ' $1 + 1 = 3$ ' auf verschiedene Arten Information enthalten: Für den Unwissenden, der noch nicht in die Funktionsweise des '+'-Operators eingeführt wurde, wird diese Aussage eine erste verbindliche Angabe enthalten auf dem Weg zur Erkenntnis der Addition. Der Wissende auf der anderen Seite kann aus dieser Aussage den Schluss ziehen, dass es sich um eine falsche Aussage handelt und dass der Äussernde entweder keine Kenntnis des wahren Sachverhaltes besitzt oder die Destination bewusst irreleiten will.

Auf diese Weise kann eine Falschinformation grosse Wirkung auf Mensch und Gesellschaft haben. Bisweilen prägen 'falsche' Aussagen sogar ganze Weltbilder, auch dann noch, wenn sie bereits als falsch entlarvt wurden. Bekanntlich konnte sich das geozentrische Weltbild des Claudius Ptolemäus auf Druck der Kirche im späten Mittelalter und zu Beginn der Neuzeit auch dann noch halten, als die Naturwissenschaft durch Nikolaus Kopernikus, Galileo Galilei und Johannes Kepler bereits erdrückend evidente Beweise für das heliozentrische Weltbild vorbringen konnte. Die Informationstheorie muss deshalb das Phänomen, dass auf kommunikativer Ebene nicht nur Wahrheiten ausgetauscht werden, sondern dass mitunter mit Unwirklichem und auch mit Falschem informiert wird, als gleichwertiges Faktum neben anderen Informationsarten akzeptieren. Mit der hier aufgezeichneten Informationstheorie, den darin entworfenen Informationsträgern und Informationselementen, die stets für Hirnkonstrukte stehen, kann indessen die oben beschriebene Informationsart problemlos integriert werden.

Eine weitere Streitfrage betrifft das Paradoxon, dass nach der heute gängigen Meinung die Information gemäss Norbert Wiener als Vorgang postuliert wird, der in die bestehende Struktur eines Dings neue Elemente einordnet, während gleichzeitig Shannons Entropiebegriff, der in der Thermodynamik ein Mass der Unordnung darstellt, als Mass der Information vorgeschlagen wird. Dies ist jedoch nur scheinbar widersprüchlich, weil den verschiedenen Mutmassungen auch unterschiedliche Ausgangspunkte zugrunde liegen. Die Information als einordnender Vorgang vergrössert offensichtlich eine Struktur dadurch, dass neue Elemente in die Struktur eingeordnet werden. Damit wird der Eindruck erweckt, es entstehe hernach mehr Ordnung, was bei der isolierten Betrachtung des Dings respektive dessen Struktur durchaus zutrifft. Der Entropiebegriff indessen macht eine Aussage betreffend die r -semantischen Beziehungen des Dings mit dessen Umgebung. Diese Beziehungen zielen in Shannons Kommunikationssystem auf die Nachrichten, die eine Informationsquelle aussenden kann, wobei die Mannigfaltigkeit der Nachrichten einer solchen Informationsquelle über die Berechnung der Entropie ermittelt wird. Da solche Nachrichten stets als Auszüge des Wissens der Informationsquelle betrachtet werden können, wird die Mannigfaltigkeit der von ihr produzierbaren Nachrichten mit der Vergrösserung ihres Wissens als Struktur stets zunehmen. Dadurch vergrössert sich aber wiederum die r -semantische Hülle der Struktur, was gemäss Definition 14 zur Folge hat, dass deren Entropie entsprechend ansteigt. Je grösser also die Kardinalität einer Struktur durch Informationsvorgänge wird, desto grösser wird tendenziell die Entropie. Obwohl also ein Informationsvorgang die 'Ordnung' eines Dings in Form der Anzahl Strukturelemente vergrössert, nimmt dadurch insgesamt die Entropie und damit die potentielle 'Unordnung' des Dings im Wechselspiel mit seiner Umwelt zu oder bleibt gleich. Damit verträgt sich der Entropiebegriff der hier entworfenen Informationstheorie mit dem zweiten thermodynamischen Hauptsatz.

Mehr als das: Der formale Teil der vorliegenden Arbeit zeigt mit der als 'Hauptsatz der Informatik' postulierten Feststellung von Satz 3 eine Möglichkeit auf, eine dem zweiten thermodynamischen Hauptsatz stark verwandte Aussage aus dem informationstheoretischen Entropiebegriff herzuleiten. Damit werden aber Affinitäten zwischen den thermodynamischen Vorgängen und den Informationsvorgängen aufgedeckt. Dass diese Idee durchaus plausibel ist, mag das folgende Gedankenexperiment illustrieren: Man denke sich den Zustand eines Gases in einem abgeschlossenen System als Informationsquelle und dessen mögliche Nachfolgezustände als die möglichen Nachrichten, die eine solche Informationsquelle produzieren kann, womit die Beziehungen des Gaszustandes zu seinen Nachfolgezuständen seiner r -semantischen Hülle entsprechen. Der Informationsvorgang wäre dann zu verstehen als der tatsächliche Übergang des Gaszustandes in einen ausgewählten Nachfolgezustand. Es liegt auf der Hand, dass auch andere physikalische Vorgänge nach demselben Prinzip als Informationsvorgänge konstruiert werden können.

Mit der gleichen Argumentation kann das Kausalitätsprinzip *toto genere* gleichsam auf natürliche Weise in die hier skizzierte Informationstheorie eingebaut werden. Das Kausalitätsprinzip besagt nämlich, dass jedes Ereignis eine oder mehrere Ursachen hat und hernach selber Ursache von einem oder von mehreren Ereignissen sein kann. Ein Ereignis kann aber entsprechend den Resultaten aus Kapitel 3 als Ding betrachtet werden, weshalb wir die in der Arbeit erworbenen Erkenntnisse auch auf Ereignisse anwenden können. Danach bilden die Beziehungen, die von den Ursachen eines Ereignisses hin zum Ereignis selber gerichtet sind, dessen r -syntaktische Hülle und jene Beziehungen, die vom Ereignis weg hin zu den von ihm bewirkten Nachfolgeereignissen gerichtet sind, dessen r -semantische Hülle. Die Folgerung von Hans Titze also, wonach die Information nichts anderes als den Ursachenaspekt des Kausalitätsprinzips darstelle, kann damit widerlegt werden: Die Information ist nicht gleichbedeutend mit dem Ursachenaspekt des Kausalitätsprinzips, sondern das Kausalitätsprinzip als Ganzes und damit auch der Ursachenaspekt sind Teilaspekte der Information.

Im Verlauf der Arbeit gewann die Idee von Carl Friedrich von Weizsäcker, dass sich Energie dereinst als Information erweisen könnte, wie sich in der modernen Physik Materie als Energie erwiesen hat, immer mehr an Plausibilität. Damit verliert die These von Norbert Wiener, wonach Information neben Materie und Energie eine eigene physikalische Grösse darstelle, oder die Vermutung von Hansjürg Mey, die besagt, dass Materie, Energie und Information eine Triade darstellen, die in ihrer Wechselwirkung die von uns wahrnehmbaren Eigenheiten eines Objekts ausmachen, an Gewicht. Information bietet sich tatsächlich als Grundbegriff der Naturwissenschaft an, der geeignet ist, mentale und aussermentale Vorgänge und Gegenstände in einen einzigen Begriff zu fassen.

4.6 Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war es, einen Beitrag zur Entwicklung eines vereinheitlichten Informations-Begriffs zu leisten. Damit ging die Absicht einher, Probleme und Widersprüche aufzudecken und zu analysieren, die aufgrund von Mängeln in den herkömmlichen Begriffsbestimmungen der Information entstanden. Auf diese Weise wurde die Basis geschaffen, um diese unvollständigen Begriffsbestimmungen im Rahmen einer interdisziplinär ausgerichteten Informationstheorie zu vereinen. Die Idee einer derart allgemeinen Begriffsbestimmung der Information entwickelte sich indessen nicht aus einer wissenschaftlichen Notwendigkeit, sondern sie entsprang lediglich dem privaten Interesse des Autors. Deshalb wird sich der hier entwickelte Informations-Begriff vorerst dem Tribunal jener Theorien stellen müssen, die bisher mit den herkömmlichen Informations-Begriffen ihre Ergebnisse begründeten. Keine dieser Theorien wurde nämlich aufgrund der ermittelten Mängel am fachspezifischen Fortschritt gehindert. Der neue Informations-Begriff muss demnach im Rahmen weiterer wissenschaftlicher Arbeiten auf seine Verträglichkeit mit diesen Theorien hin geprüft werden.

Diese Verträglichkeitsprüfungen dürfen sich nicht bloss auf die Wissensbereiche der Informatik beschränken. Verschiedene Erkenntnisse der modernen Naturwissenschaften, wie etwa das heute verfügbare Wissen bezüglich des Informationsaustauschs zwischen Zellen im Organismus, gründen nämlich direkt oder indirekt auf dem Shannonschen Informations-Begriff. Aber auch in den Geisteswissenschaften, namentlich in gewissen Teilgebieten der Psychologie, werden etliche Aussagen aus Modellen der Informationsverarbeitung abgeleitet, die sich ihrerseits auf die herkömmlichen Informations-Begriffe stützen. Erst die Verträglichkeit der Aussagen solcher Theorien mit dem neuen Informations-Begriff wird darüber entscheiden, ob dieser in Zukunft auch wirklich die angestrebte interdisziplinäre Anwendung findet. Schliesslich müssen im Falle einer breiten Akzeptanz der Aussage von Satz 3 in Kapitel 4.4 dessen Auswirkungen auf die moderne Physik im speziellen und die Naturwissenschaft im allgemeinen umfassend diskutiert werden.

Einige der Aussagen in der vorliegenden Arbeit konnten aus keiner anderen Theorie abgeleitet werden. Zu ihnen gehören die vorgeschlagene neue Sichtweise von Syntax, Semantik und Pragmatik sowie die Idee der Mitberücksichtigung unwahrer Aussagen in einer formalen Theorie der Information. Zwar gelang in dieser Arbeit auf argumentativem Wege eine Positionierung der beiden Ideen im geistes- und im naturwissenschaftlichen Lehrgebäude, doch für eine solide Einordnung in die Welt der Wissenschaften reicht dies noch nicht aus. Erst eine breit angelegte Diskussion dieser Neuerungen wird über deren Bestand in der Zukunft entscheiden können.

ANHANG

A. Verzeichnisse

A.1 Figuren

Figur 1:	Schematische Darstellung eines allgemeinen Kommunikationssystems	Seite 8
Figur 2:	Das I-System: ein Kybernetisches Modell der Semiose	Seite 13
Figur 3:	Kausale Beziehung zwischen Sender und Empfänger	Seite 18
Figur 4:	Das Ding und seine Beziehungshülle zum Zeitpunkt der Wahrnehmung	Seite 29
Figur 5:	Flussdiagramm der wichtigsten Ereignisse innerhalb einer Lernepisode	Seite 46
Figur 6:	Schematische Darstellung eines universellen Kommunikationssystems	Seite 63

A.2 Formeln

Formel 1:	Informationsgehalt H nach Claude E. Shannon	Seite 9
Formel 2:	Redundanz r nach Claude E. Shannon	Seite 9
Formel 3:	Unwahrscheinlichkeitsfunktion H nach Doede Nauta	Seite 14
Formel 4:	Informationsgehalt des Dings S	Seite 78
Formel 5:	Hauptsatz der Informationstheorie	Seite 1

A.3 Definitionen

Definition 1:	Menge aller Apriori-Grundeinheiten	Seite 69
Definition 2:	Direkte Verbundenheit apriori	Seite 70
Definition 3:	Indirekte Verbundenheit apriori	Seite 70
Definition 4:	Apriori zusammenhängende Mengen - Apriori-Strukturen	Seite 70
Definition 5:	Menge aller Apriori-Dinge	Seite 71

Definition 6:	R_semantische & r_syntaktische Hülle apriori	Seite 71
Definition 7:	Menge aller Dinge	Seite 72
Definition 8:	Menge aller von einem Individuum $i_0 \in I$ konstruierbaren Dinge	Seite 73
Definition 2*:	Direkte Verbundenheit	Seite 73
Definition 3*:	Indirekte Verbundenheit	Seite 73
Definition 4*:	Zusammenhängende Mengen - Informations-Strukturen	Seite 73
Definition 6*:	R_semantische & r_syntaktische Hülle	Seite 74
Definition 9:	Strukturelle Gemeinsamkeit & strukturelle Differenz	Seite 75
Definition 10:	Nachricht	Seite 75
Definition 11:	Einordnung von Informations-Strukturen	Seite 76
Definition 12:	Informationsvorgang - Strukturzuwachs	Seite 77
Definition 13:	Selektionswahrscheinlichkeit	Seite 78
Definition 14:	Informationsgehalt	Seite 78

A.4 Sätze

Satz 1:	Informations-Struktur T' mit leerer struktureller Differenz zu einer Informations-Struktur S	Seite 76
Satz 2:	Zunahme der Kardinalität der r_semantischen Hülle einer Informations-Struktur als Folge eines Informationsvorgangs	Seite 77
Satz 3:	Hauptsatz der Informationstheorie	Seite 79

A.5 Anmerkungen

Anmerkung 1:	Informationsträger	Seite 74
Anmerkung 2:	Informationselement	Seite 74

B. Bibliographie

[Alkon 1990 a]

Alkon, Daniel L., 'Eine Meeresschnecke als Lernmodell', in: [Singer et al. 1990, S. 72 ff.].

[Alkon 1990 b]

Alkon, Daniel L., 'Gedächtnisspuren in Nervensystemen und künstliche neuronale Netze', in: [Singer et al. 1990, S. 84 ff.].

[Attneave 1974]

Attneave, Fred, 'Informationstheorie in der Psychologie, Grundbegriffe, Techniken, Ergebnisse', aus dem englischen übersetzt von Helmut Richter, Verlag Hans Huber, Bern, Stuttgart, Wien, 1974.

[Bar-Hillel 1964]

Bar-Hillel, Yehoshua, 'Language and Information, Selected Essays on their Theory and Application', Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1964.

[Barwise/Perry 1987]

Barwise, Jon, Perry, John, 'Situationen und Einstellungen, Grundlagen der Situationssemantik', Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1987.

[Beyer et al. 1978]

Beyer, O., Girlich, H.-J., Zschiesche, H.-U., 'Stochastische Prozesse und Modelle', Mathematik für Ingenieure, Naturwissenschaftler, Ökonomen und sonstige anwendungsorientierte Berufe, Band: 19/1, Verlag Harri Deutsch, Thun, Frankfurt am Main, 1978.

[Bower/Hilgard 1983 a]

Bower, Gordon H., Hilgard, Ernest R., 'Theorien des Lernens I', in deutscher Sprache herausgegeben und neu übersetzt von Hans Aebli und Urs Aeschbacher, 5. Auflage, Klett-Cotta, Stuttgart, 1983.

[Braitenberg/Schütz 1990]

Braitenberg, Valentin, Schütz, Almut, 'Cortex: hohe Ordnung oder grösstmögliches Durcheinander?', in: [Singer et al. 1990, S. 182 ff.].

[Cherry 1963]

Cherry, C., 'Kommunikationsforschung - eine neue Wissenschaft', übersetzt von P. Müller, S. Fischer Verlag, Hamburg, 1963.

[Ciompi 1993]

Ciompi, Luc, 'Die Hypothese der Affektlogik', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 2, Februar 1993, S. 76 ff.

[Crick 1990]

Crick, Francis H. C., 'Gedanken über das Gehirn', in: [Singer et al. 1990, S. 176 ff.].

[Delius 1990]

Delius, Juan D., 'Komplexe Wahrnehmungsleistungen bei Tauben', in: [Singer et al. 1990, S. 106 ff.].

[Ditfurth et al. 1986]

Ditfurth, Hoimar von, Eibl-Eibesfeld, Irenäus, Jonas, Hans, Keller, Hannes, Mey, Hansjürg, Pestel, Eduard, Popper, Karl Raimund, Zimmerli, Walther Ch., 'Denken über die Zukunft, Ein Symposium', Ringier AG, Zürich, 1986.

[Dretske 1981]

Dretske, Fred Irvin, 'Knowledge and the Flow of Information', Basil Blackwell, Oxford, 1981.

[Ehrenstrasser 1974]

Ehrenstrasser, Gottfried, 'Stochastische Signale und ihre Anwendung', Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg, 1974.

[Eimas 1990]

Eimas, Peter D., 'Sprachwahrnehmung beim Säugling', in: [Singer et al. 1990, S. 120 ff.].

[Engel/König/Singer 1993]

Engel, Andreas K., König, Peter, Singer, Wolf, 'Bildung repräsentationaler Zustände im Gehirn', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 9, September 1993, S. 42 ff.

[Fisher 1922]

Fisher, Ronald Aylmer, 'On the Mathematical Foundations of Theoretical Statistics', Phil. Trans. Roy. Soc., Series A, Vol. 222, London, 1922, S. 309 ff.

[Fisher 1935]

Fisher, Ronald Aylmer, 'The Design of Experiments', Oliver and Boyd, 1935.

[Flehtner 1968]

Flehtner, Hans-Joachim, 'Grundbegriffe der Kybernetik', 3. Auflage, Wiss. Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 1968.

[Halmos 1976]

Halmos, Paul R., 'Naive Mengenlehre', moderne Mathematik in elementarer Darstellung, aus dem Amerikanischen übersetzt von Manfred Armbrust und Fritz Ostermann, 4. Auflage, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1976.

[Heise/Quattrocchi 1983]

Heise, Werner, Quattrocchi, Pasquale, 'Informations- und Codierungstheorie, mathematische Grundlagen der Daten-Kompression und -Sicherheit in diskreten Kommunikationssystemen', J.-Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1983.

[Heller et al. 1978]

Heller, Wolf-Dieter, Lindenberg, Henner, Nuske, Manfred, Schriever, Karl-Heinz, 'Stochastische Systeme: Markoffketten, stochastische Prozesse, Warteschlangen', de Gruyter Lehrbuch, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1978.

[Heyderhoff/Hildebrand 1973]

Heyderhoff, Peter, Hildebrand, Theodor, 'Skripten zur Informatik/6, Informationsstrukturen, eine Einführung in die Informatik', B. I.-Wissenschaftsverlag, Mannheim, Wien, Zürich, 1973.

[Hintikka 1968]

Hintikka, J., 'The Varieties of Information and Scientific Explanation', Logic, Methodology and Philosophy of Science, Rootselaar, B. van and Staal, J. F. (eds.), Amsterdam, Vol. III, 1968, S. 311 ff.

[Hofstadter 1989]

Hofstadter, Douglas R., 'Gödel, Escher, Bach, ein Endloses Geflochtenes Band', aus dem Amerikanischen übersetzt von Philipp Wolff-Windegg und Hermann Feuersee, Klett-Cotta, Stuttgart, 1989.

- [Iversen 1988]
Iversen, Leslie L., 'Die Chemie der Signalübertragung', in: [Stevens et al. 1988, S. 20 ff.].
- [Kandel 1988]
Kandel, Eric R., 'Kleine Verbände von Nervenzellen', in: [Stevens et al. 1988, S. 76 ff.].
- [Kandel et al. 1991]
Kandel, Eric R., Schwartz, James H., Jessel, Thomas M., 'Principles of Neural Science', third edition, Prentice-Hall, Inc., London, New York, 1991.
- [Khinchin 1957]
Khinchin, A. J., 'Mathematical Foundation of Information Theory', translated from Russian, orig. ed. 1955, by M. D. Friedman, New York, 1957.
- [Knaurs 1974]
'Knaurs Lexikon', Band 1-19, berechtigte Lizenzausgabe für den Buchclub Ex Libris Zürich, lexikographisches Institut München, Satz: F. Bruckmann KG, München, 1974.
- [Lauener 1982]
Lauener, Henri, 'Willard Van Orman Quine', Verlag C. H. Beck, München, 1982.
- [MacKay 1969]
MacKay, Donald M., 'Information, Mechanism and Meaning', The M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, and London, England, 1969.
- [Mey 1986]
Mey, Hansjürg, 'Der Eintritt in das Informationszeitalter', in: [Ditfurth et al. 1986, S. 83 ff.].
- [Mishkin/Appenzeller 1990]
Mishkin, Mortimer, Appenzeller, Timothy, 'Die Anatomie des Gedächtnisses', in: [Singer et al. 1990, S. 94 ff.].
- [Morris 1938]
Morris, Charles W., 'Foundation of the Theory of Signs', University of Chicago Press, Chicago, 1938.
- [Morris 1946]
Morris, Charles W., 'Signs, Language and Behavior', Englewood Cliffs, New York, 1946.
- [Morris 1964]
Morris, Charles W., 'Signification and Significance, A Study of the Relations of Signs and Values', Mass.: The M.I.T. Press, Cambridge, 1964.
- [Nauta 1970]
Nauta, Doede Jr., 'The Meaning of Information', Mouton, The Hague, Paris, 1970.
- [Nottebohm 1990]
Nottebohm, Fernando, 'Vom Vogelgesang zur Bildung neuer Nervenzellen', in: [Singer et al. 1990, S. 66 ff.].
- [Palm 1990]
Palm, Günther, 'Assoziatives Gedächtnis und Gehirntheorie', in: [Singer et al. 1990, S. 164 ff.].
- [Peirce 1967]
Peirce, Charles Santiago Sanders, 'Einige Konsequenzen aus vier Unvermögen, in: C. S. Peirce, Schriften I: zur Entstehung des Pragmatismus', K. O. Apel, Frankfurt am Main, 1967.

- [Popper 1965]
Popper, Karl Raimund, 'The Logic of Scientific Discovery', New York, 1965, orig. 'Logik der Forschung', Wien, 1935.
- [Quine 1975 a]
Quine, Willard van Orman, 'Ontologische Relativität und andere Schriften', aus dem Englischen übersetzt von Wolfgang Spohn, Philipp Reclam jun. GmbH & Co., Stuttgart, 1975.
- [Quine 1975 b]
Quine, Willard van Orman, 'Ontologische Relativität', in: [Quine 1975 a, S. 41 ff.].
- [Quine 1975 c]
Quine, Willard van Orman, 'Natürliche Arten', in: [Quine 1975 a, S. 157 ff.].
- [Quine 1980]
Quine, Willard van Orman, 'Wort und Gegenstand (Word and Object)', aus dem Englischen übersetzt von Joachim Schulte in Zusammenarbeit mit Dieter Birnbacher, Philipp Reclam jun. GmbH & Co., Stuttgart, 1980.
- [Rahmann/Rahmann 1988]
Rahmann, Hinrich, Rahmann, Mathilde, 'Das Gedächtnis, neurobiologische Grundlagen', J. F. Bergmann Verlag, München, 1988.
- [Seiffert 1968]
Seiffert, Helmut, 'Information über die Information, Verständigung im Alltag, Nachrichtentechnik, wissenschaftliches Verstehen, Informationssoziologie, das Wissen des Gelehrten', Verlag C. H. Beck, München, 1968.
- [Shannon 1969]
Shannon, Claude E., Weaver, Warren, 'The Mathematical Theory of Communication', the University of Illinois Press, Urbana, Chicago, London, Fourth Printing of the Paperback Edition, 1969, Original Edition, 1948.
- [Singer 1990]
Singer, Wolf, 'Hirnentwicklung und Umwelt', in: [Singer et al. 1990, S. 50 ff.].
- [Singer et al. 1990]
Singer, Wolf, et al., 'Gehirn und Kognition', Sammelband, Spektrum der Wissenschaft: verständliche Forschung, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, 1990.
- [Sitte et al. 1988]
Sitte, Peter, et al., 'Die Moleküle des Lebens', Sammelband, Spektrum der Wissenschaft: verständliche Forschung, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, 1988.
- [Stevens 1988]
Stevens, Charles F., 'Die Nervenzelle', in: [Stevens et al. 1988, S. 2 ff.].
- [Stevens et al. 1988]
Stevens, Charles F., et al., 'Gehirn und Nervensystem, woraus sie bestehen, wie sie funktionieren, was sie leisten', Sammelband, Spektrum der Wissenschaft: verständliche Forschung, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, 1988.
- [Titze 1971]
Titze, Hans, 'Ist Information ein Prinzip?', in: Monographien zur philosophischen Forschung, Verlag Anton Hain, Meisenheim am Glan, 1971.

[Treisman 1990]

Treisman, Anne, 'Merkmale und Gegenstände in der visuellen Verarbeitung', in: [Singer et al. 1990, S. 134 ff.].

[Weaver 1969]

Weaver, Warren, 'Recent Contributions to the Mathematical Theory of Communication', in: [Shannon 1969, S. 1 ff.].

[Wechler 1992]

Wechler, Wolfgang, 'Universal Algebra for Computer Scientists', ETACS Monographs on Theoretical Computer Science, J.-Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1992.

[Wiener 1963]

Wiener, Norbert, 'Kybernetik, Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine', zweite, revidierte und ergänzte Auflage, Econ-Verlag GmbH, Düsseldorf, Wien, 1963, Originalauflage durch Massachusetts Institute of Technology, 1948.

[Wilson 1988]

Wilson, Allan C., 'Die molekulare Grundlage der Evolution', in: [Sitte et al. 1988, S. 198 ff.].

[Zeki 1992]

Zeki, Semir M., 'Das geistige Abbild der Welt', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 11, November 1992, S. 54 ff.

C. Weiterführende Literatur

[Alvager et al. 1991]

Alvager, T., Humpert, Benedict, Weers, Douglas, 'Parallelverarbeitung von Informationen: Warum sind Neuronale Netzwerke so erfolgreich?', in: Output, Goldbach, Schweiz, Nr. 5, 1991, S. 17 ff.

[Ammon 1993]

Ammon, Kurt, 'An Automatic Proof of Gödel's Incompleteness Theorem (Research Note)', Zeitschrift: Artificial Intelligence, Volume 61, Number 2, June 1993, S. 291 ff.

[Anderson 1978]

Anderson, Alan Ross, 'Was symbolisieren Symbole?: Platonismus (1961/62)', übersetzt von Eike von Savigny, in: [Stegmüller 1978, S. 322 ff.].

[Bar-Hillel/Carnap 1964]

Bar-Hillel, Yehoshua, Carnap, Rudolf, 'An Outline of a Theory of Semantic Information', in: [Bar-Hillel 1964, S. 221 ff.].

[Bar-Hillel 1964]

Bar-Hillel, Yehoshua, 'Language and Information, Selected Essays on their Theory and Application', Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1964.

[Binz et al. 1977]

Binz, Jany, et al., 'Formeln und Tafeln, Mathematik - Statistik - Physik', Orell Füssli Verlag, Zürich, 1977.

[Bower/Hilgard 1983 b]

Bower, Gordon H., Hilgard, Ernest R., 'Theorien des Lernens II', in deutscher Sprache herausgegeben und neu übersetzt von Hans Aebli und Urs Aeschbacher, 5. Auflage, Klett-Cotta, Stuttgart, 1983.

[Brandis 1977]

Brandis, Hans-Joachim von, 'Anatomie und Physiologie für Schwestern und ärztliche Mitarbeiter', fünfte, überarbeitete Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 1977.

[Brockhaus 1971]

Brockhaus, F. A., 'Brockhaus Enzyklopädie in zwanzig Bänden', Siebzehnte völlig neu bearbeitete Auflage des grossen Brockhaus, Wiesbaden, 1971.

[Carnap 1978]

Carnap, Rudolf, 'Empirismus, Semantik und Ontologie (1952/56)', übersetzt von Walter Hoering, in: [Stegmüller 1978, S. 322 ff.].

[Cartwright 1978]

Cartwright, Richard L., 'Ontologie und die Theorie der Bedeutung', übersetzt von Walter Hoering, in: [Stegmüller 1978, S. 291 ff.].

[Chen 1979]

Chen, Peter Pin-Shan, 'Proceedings of the International Conference on Entity-Relationship Approach to System Analysis and Design', Edited by Peter P. Chen, Los Angeles, U.S.A., 1979.

[Childs 1977]

Childs, D. L., 'Extended Set Theory, A General Model for Very Large, Backend Information Systems', Proceedings of the 3rd International Conference on Very Large Data Bases, Tokyo, 1977, S. 28 ff.

[Chomsky 1972]

Chomsky, Noam, 'Studies on Semantics in Generative Grammar', Mouton, The Hague, Paris, 1972.

[Chomsky 1981]

Chomsky, Noam, 'Regeln und Repräsentationen', Edition Suhrkamp, Frankfurt am Main, 1981.

[Churchland/Churchland 1990]

Churchland, Paul M., Smith Churchland, Patricia, 'Ist eine denkende Maschine möglich?', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Nr. 3, März 1990, S. 47 ff.

[Church 1978]

Church, Alonzo, 'Propositionen und Sätze (1956), Ontologische Voraussetzungen (1958), Intentionale Semantik (1951)', übersetzt von Walter Hoering, in: [Stegmüller 1978, S. 188 ff.].

[Crick/Koch 1992]

Crick, Francis H. C., Koch, Christof, 'Das Problem des Bewusstseins', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 11, November 1992, S. 144 ff.

[Damasio/Damasio 1992]

Damasio, Antonio R., Damasio, Hanna, 'Sprache und Gehirn', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 11, November 1992, S. 80 ff.

[Drosdowsky 1989]

Drosdowsky, Günther, 'DUDEN Das Herkunftswörterbuch, Etymologie der deutschen Sprache', zweite, völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Dudenverlag, Mannheim, Wien, Zürich, 1989.

[Drosdowsky et al. 1982]

Drosdowsky, Günther, Köster, Rudolf, Müller, Wolfgang, Scholze-Stubenrecht, Werner, 'DUDEN Das Fremdwörterbuch, Notwendig für das Verstehen und den Gebrauch fremder Wörter', Dudenverlag, Mannheim, Wien, Zürich, 1986.

[Drosdowsky et al. 1986]

Drosdowsky, Günther, Köster, Rudolf, Müller, Wolfgang, Scholze-Stubenrecht, Werner, 'DUDEN Sinn- und sachverwandte Wörter, Wörterbuch der treffenden Ausdrücke', Dudenverlag, Mannheim, Wien, Zürich, 1986.

[Dutz 1979]

Dutz, Klaus D., 'Glossar der semiotischen Terminologie Charles W. Morris', Münsteraner Arbeitskreis für Semiotik E.V., Münster, 1979.

[Ebeling 1989]

Ebeling, Werner, 'Chaos - Ordnung - Information, Selbstorganisation in Natur und Technik', Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, Thun, 1989.

[Engeler 1983]

Engeler, Erwin, 'Metamathematik der Elementarmathematik', J.-Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1983.

[Engesser et al. 1989]

Engesser, Hermann, Claus, Volker, Schwill, Andreas, 'DUDEN Informatik, Ein Sachlexikon für Studium und Praxis', Dudenverlag, Mannheim, Wien, Zürich, 1989.

[Fischbach 1992]

Fischbach, Gerald D., 'Gehirn und Geist', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 11, November 1992, S. 30 ff.

[Fuhr/Pfeifer 1994]

Fuhr, Norbert, Pfeifer, Ulrich, 'Probabilistic Information Retrieval as a Combination of Abstraction, Inductive Learning, and Probabilistic Assumptions', Zeitschrift: ACM Transactions on Information Systems, Volume 12, Number 1, January 1994, S. 92 ff.

[Gane/Sarson 1979]

Gane, Chris, Sarson, Trish, 'Structured Systems Analysis: Tools and Techniques', Improved Systems Technologies, Inc., New York, 1979.

[Geldard/Sherrick 1990]

Geldard, Frank A., Sherrick, Carl E., 'Raum, Zeit und Tastsinn', in: [Singer et al. 1990, S. 128 ff.].

[Gershon/Rieder 1992]

Gershon, Elliot S., Rieder, Ronald O., 'Molekulare Grundlagen von Geistes- und Gemütskrankheiten', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 11, November 1992, S. 114 ff.

[Goldman-Rakic 1992]

Goldman-Rakic, Patricia S., 'Das Arbeitsgedächtnis', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 11, November 1992, S. 94 ff.

[Goldszmidt et al. 1993]

Goldszmidt, Moisés, Morris, Paul, Pearl, Judea, 'A Maximum Entropy Approach to Nonmonotonic Reasoning', Zeitschrift: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume 15, Number 3, March 1993, S. 220 ff.

[Goodman 1978]

Goodman, Nelson, 'Eine Welt von Individuen (1964)', übersetzt von Walter Hoering, in: [Stegmüller 1978, S. 226 ff.].

[Goorhuis et al. 1990]

Goorhuis, Henk, Gürman, Nadine, Montigel, Markus, Thalmann, Laura, 'Neuronale Netze und regelbasierte Systeme: Ein hybrider Ansatz', ETH, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, Departement Informatik, Institut für theoretische Informatik, Nr. 131, Mai 1990.

[Grebe et al. 1966]

Grebe, Paul, Gipper, Helmut, Mangold, Max, Mentrup, Wolfgang, Winkler, Christian, 'DUDEN Grammatik der deutschen Gegenwartssprache', Dudenverlag, Mannheim, Zürich, 1966.

[Gut 1971]

Gut, Bernardo, 'Informationstheorie und Erkenntnislehre, Erkenntnistheoretische Studien an Begriffsbildungen der Informationstheorie', Herausgegeben von der naturwissenschaftlichen Sektion am Goetheanum, Dornach, Schweiz, 1971.

[Hawking 1989]

Hawking, Stephen W., 'Eine kurze Geschichte der Zeit, Die Suche nach der Urkraft des Universums', Deutsch von Hainer Kober unter fachlicher Beratung von Dr. Bernd Schmidt, Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, 1989.

- [Heckermann et al. 1993]
Heckermann, David, Horvitz, Eric, Middleton, Blackford, 'An Approximate Nonmyopic Computation for Value of Information', Zeitschrift: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Volume 15, Number 3, March 1993, S. 292 ff.
- [Hinton 1992]
Hinton, Geoffrey E., 'Wie neuronale Netze aus Erfahrung lernen', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 11, November 1992, S. 134 ff.
- [Illingworth 1991]
Illingworth, Valerie, 'Oxford Reference, Dictionary of Computing', Third Edition, Oxford University Press, Oxford, New York, 1991.
- [Kalin 1993]
Kalin, Ned H., 'Neurobiologie der Angst', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 7, Juli 1993, S. 76 ff.
- [Kandel/Hawkins 1992]
Kandel, Eric R., Hawkins, Robert D., 'Molekulare Grundlagen des Lernens', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 11, November 1992, S. 66 ff.
- [Keckeis et al. 1946]
Keckeis, Gustav, Lang, Herbert, Rentsch, Eugen, Sauerländer, H. R., Vetter, Hans, 'Schweizer Lexikon, in sieben Bänden', Encyclopos-Verlag AG, Münsterstraße 4, Zürich, 1946.
- [Kent 1978]
Kent, William, 'Data and Reality, Basic Assumptions in Data Processing Reconsidered', North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford, 1978.
- [Klaus 1969]
Klaus, Georg, 'Kybernetik und Erkenntnistheorie', 3. Auflage, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1969.
- [Knobloch 1984]
Knobloch, Clemens, 'Sprachpsychologie, Ein Beitrag zur Problemgeschichte und Theoriebildung', Max Niemeyer Verlag, Tübingen, 1984.
- [Kuhn 1989]
Kuhn, Thomas S., 'Die Struktur wissenschaftlicher Revolution', aus dem Amerikanischen übersetzt von Kurt Simon, Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft, Frankfurt am Main, 1989.
- [Leggett 1989]
Leggett, Anthony J., 'Physik: Probleme - Themen - Fragen', aus dem Englischen übersetzt und herausgegeben von Hans-Georg Schöpf, Dresden, Birkhäuser Verlag, Basel, Berlin, Boston, 1989.
- [Lien 1979]
Lien, Y. Edmund, 'On the Semantics of the Entity-Relationship Data Model', in: [Chen 1979, S. 131 ff.].
- [Mache 1991]
Mache, Christoph, 'Datenbankdesign: Über die Abbildung der Zeit in Datenbanksystemen', in: Output, Goldbach, Schweiz, Nr. 1, 1991, S. 23 ff.

[McMenamin/Palmer 1988]

McMenamin, Stephen M., Palmer, John F., 'Strukturierte Systemanalyse, mit einem Geleitwort von Tom DeMarco', Übersetzt von Dr. Peter Hruschka, Hanser, Wien, 1988.

[Mealy 1967]

Mealy, George H., 'Another Look at Data', AFIPS Conference Proceedings, Fall Joint Computer Conference 31, 1967, S. 525 ff.

[Mey 1989]

Mey, Hansjürg, 'Neuronale Netze: Beilagen zur gleichnamigen Vorlesung', Universität Bern, Institut für Informatik und angewandte Mathematik, Sommersemester, 1989.

[Müller 1974]

Müller, Otto, 'Semiotik und Kommunikation, Inaugural-Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Philosophie der Universität Mannheim (WH)', Mannheim, 1974.

[Ore 1974]

Ore, Oystein, 'Graphen und ihre Anwendungen', Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 1974.

[Oswald 1978]

Oswald, Wolf D., 'Grundkurs Information', Ferdinand Schöningh, Paderborn, 1978.

[Penrose 1991]

Penrose, Roger, 'Computerdenken, Die Debatte um Künstliche Intelligenz, Bewusstsein und die Gesetze der Physik', mit einem Vorwort von Martin Gardner und einem Vorwort zur deutschen Ausgabe von Dieter Wandschneider, aus dem Englischen übersetzt von Michael Springer, Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg, 1991.

[Peters 1967]

Peters, Johannes, 'Einführung in die allgemeine Informationstheorie', J.-Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1967.

[Quine 1975 a]

Quine, Willard van Orman, 'Ontologische Relativität und andere Schriften', aus dem Englischen übersetzt von Wolfgang Spohn, Philipp Reclam jun. GmbH & Co., Stuttgart, 1975.

[Quine 1975 d]

Quine, Willard van Orman, 'Das Sprechen über Gegenstände', in: [Quine 1975 a, S. 7 ff.].

[Quine 1975 e]

Quine, Willard van Orman, 'Naturalisierte Erkenntnistheorie', in: [Quine 1975 a, S. 97 ff.].

[Quine 1975 f]

Quine, Willard van Orman, 'Existenz und Quantifikation', in: [Quine 1975 a, S. 127 ff.].

[Quine 1975 g]

Quine, Willard van Orman, 'Propositionale Gegenstände', in: [Quine 1975 a, S. 190 ff.].

[Quine 1978]

Quine, Willard van Orman, 'Über Universalien (1947), Was es gibt (1948), Semantik und abstrakte Gegenstände (1951), Logik und Verdinglichung von Universalien (1953), Bezeichnung und Modalität (1953)', übersetzt von Walter Hoering, in: [Stegmüller 1978, S. 84 ff.].

[Reinhardt/Soeder 1974]

Reinhardt, Fritz, Soeder, Heinrich, 'Dtv-Atlas zur Mathematik, Tafeln und Texte, Band I, Grundlagen, Algebra und Geometrie', Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG., München, 1974.

[Reinhardt/Soeder 1977]

Reinhardt, Fritz, Soeder, Heinrich, 'Dtv-Atlas zur Mathematik, Tafeln und Texte, Band II, Analysis und angewandte Mathematik', Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG., München, 1977.

[Rényi 1977]

Rényi, Alfréd, 'Wahrscheinlichkeitsrechnung, mit einem Anhang über Informationstheorie', VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1977.

[Rubenstein 1988]

Rubenstein, Edward, 'Gestörte Kommunikation zwischen Zellen', in: [Sitte et al. 1988, S. 144 ff.].

[Rückl/Schmoll 1984]

Rückl, Steffen, Schmoll, Georg, 'Lexikon der Information und Dokumentation', VEB Bibliographisches Institut, Leipzig, 1984.

[Savory 1985]

Savory, Stuart E., 'Künstliche Intelligenz und Expertensysteme, ein Forschungsbericht der Nixdorf Computer AG', 2. ergänzte Auflage, R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1985.

[Savory 1988]

Savory, Stuart E., 'Grundlagen von Expertensysteme, ein Forschungsbericht der Nixdorf Computer AG', R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1988.

[Schischkoff 1982]

Schischkoff, Georgi, 'Philosophisches Wörterbuch', 21. Auflage, Alfred Kröner Verlag, Stuttgart, 1982.

[Searl 1990]

Searl, John R., 'Ist der menschliche Geist ein Computerprogramm?', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Nr. 3, März 1990, S. 40 ff.

[Sebeok 1979]

Sebeok, Thomas A., 'Theorie und Geschichte der Semiotik', aus dem Amerikanischen übersetzt von Achim Eschbach, Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg, 1979.

[Shatz 1992]

Shatz, Carla J., 'Das sich entwickelnde Gehirn', Zeitschrift: Spektrum der Wissenschaft, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, Nr. 11, November 1992, S. 44 ff.

[Singer et al. 1990]

Singer, Wolf, et al., 'Gehirn und Kognition', Sammelband, Spektrum der Wissenschaft: verständliche Forschung, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, 1990.

[Sitte et al. 1988]

Sitte, Peter, et al., 'Die Moleküle des Lebens', Sammelband, Spektrum der Wissenschaft: verständliche Forschung, deutsche Ausgabe von Scientific American, Heidelberg, 1988.

[Stegmüller 1978]

Stegmüller, Wolfgang, 'Das Universalienproblem', Wege der Forschung, Band 83, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1978.

- [Stegmüller 1987 a]
Stegmüller, Wolfgang, 'Hauptströmungen der Gegenwarts-Philosophie, Band II', 8. Auflage, Alfred Kröner Verlag, Stuttgart, 1987.
- [Stegmüller 1987 b]
Stegmüller, Wolfgang, 'Hauptströmungen der Gegenwarts-Philosophie, Band III', 8. Auflage, Alfred Kröner Verlag, Stuttgart, 1987.
- [Stegmüller 1989]
Stegmüller, Wolfgang, 'Hauptströmungen der Gegenwarts-Philosophie, Band I', 7. Auflage, Alfred Kröner Verlag, Stuttgart, 1989.
- [Steinbring 1980]
Steinbring, Heinz, 'Zur Entwicklung des Wahrscheinlichkeitsbegriffs - Das Anwendungsproblem in der Wahrscheinlichkeitstheorie aus didaktischer Sicht', Institut für Didaktik der Mathematik der Universität Bielefeld, Bielefeld, 1980.
- [Titze 1974]
Titze, Hans, 'Philosophische Aspekte des Informationsbegriffes', Verlag für Recht und Gesellschaft AG, Basel, 1974.
- [Van Hee 1994]
Van Hee, Kees M., 'Information Systems Engineering: A Formal Approach', Cambridge University Press, London, 1994.
- [Vetter 1990 a]
Vetter, Max, 'Aufbau betrieblicher Informationssysteme mittels konzeptioneller Datenmodellierung', B. G. Teubner, Stuttgart, 1990.
- [Vetter 1990 b]
Vetter, Max, 'Informationssysteme in der Unternehmung, eine Einführung in die Datenmodellierung und Anwendungsentwicklung', B. G. Teubner, Stuttgart, 1990.
- [Zehnder 1989]
Zehnder, Carl August, 'Informationssysteme und Datenbanken', 5. Auflage, Verlag der Fachvereine an den Schweizerischen Hochschulen und Techniken, Zürich, 1989.

D. Lebenslauf

Name: Daniel Federico Flückiger
 Date of birth: 13 Februar 1957
 Wohnadresse: Casa la Glorietta, CH-6822 Arogno / TI
 Tel: +41 91 639 68 71
 Zivilstand: verheiratet
 E-Mail: federico.flueckiger@dir.supsi.ch / federico.flueckiger@acm.org
 URL: <http://mypage.bluewin.ch/federico.flueckiger/>

Familie: Ehefrau: Eveline geb. Steck, 1961, dipl. Hebamme
 Kinder: Franz Kaspar, 1990
 Georg Valentin, 1992
 Rosina Henriette, 1995

Ausbildung: 1964-1977 Besuch von Grund- und Mittelschulen
 1977 Matura Typus C
 1979-1983 Universität Bern: Sekundarlehrer-Studium
 1983 Sekundarlehrer-Patent
 1983-1988 Universität Bern: Studium des Faches Informatik
 1988 Lizentiat (phil. nat.) im Fach Informatik
 1990-1994 Arbeit an einer Dissertation im Fach Informatik

Berufspraxis: 1982-1985 Schule für Ergänzungsunterricht (Teilpensum)
 1985-1987 Gruppe für Angewandte Informatik GfAI: Entwicklung von
 Datenbankapplikationen
 1987-1989 Galenica AG: Datenbankadministration
 1989-1992 Ingenieurschule Bern HTL: Dozent im Nebenamt für Datenbanken und
 künstliche Intelligenz
 ab 1989 Freiberuflicher Informatiker im Bereich Datenbanken: Modellierung und
 Anwendung

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	1
Abstract	1
Vorwort	2
Vorwort	2
1. EINLEITUNG	1
2. GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK	5
2.1 Nachrichtentechnische Definition	5
2.1.1 Vorbereitende Ideen von Norbert Wiener	5
2.1.2 Das statistische Modell von Claude E. Shannon	7
2.1.3 Interpretationshilfen von Warren Weaver	10
2.2 Alternative Bestimmungsversuche	11
2.2.1 Die deskriptive Informationstheorie nach Donald M. MacKay	11
2.2.2 Semiotik und Information nach Doede Nauta jr.	13
2.3 Weiterführende Gedanken	15
2.3.1 Redundanz und Information nach Helmut Seiffert	15
2.3.2 Gedanken zur Prinzipienhaftigkeit der Information von Hans Titze	17
2.3.3 Wissen und Informationsfluss nach Fred I. Dretske	18
2.4 Abschliessende Bemerkungen	20
3. GRUNDBEGRIFFE	22
3.1 Begriffe der Zeichentheorie	22
3.1.1 Das Zeichen	22
3.1.2 Die drei Dimensionen des Zeichens	23
3.1.3 Konfliktsituation	24
3.2 Gedanken zur Semantik	31
3.2.1 Ideen von Willard van Orman Quine	31
3.2.2 Situationssemantik nach Jon Barwise und John Perry	36
3.3 Lernen und Wissen	42
3.3.1 Initiale Betrachtungen	42
3.3.2 Lernen aus psychologischer Sicht	44
3.3.3 Biologische Entsprechungen	47
3.3.4 Hirnmodell und Wissen	51
3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse	56
4 INFORMATION, EIN NEUES KONZEPT	61
4.1 Universelles Kommunikationssystem	61
4.2 Informationsträger und Informationselement	64

4.3 Phänomenologische Betrachtungen zum Informationsbegriff	66
4.4 Formale Definition	68
4.4.1 Grunddefinitionen	69
4.4.2 Information als strukturierter Gegenstand	72
4.4.3 Information als Vorgang	74
4.4.4 Ein Mass der Information	77
4.5 Folgerungen	79
4.6 Ausblick	83
ANHANG	84
A. Verzeichnisse	84
A.1 Figuren	84
A.2 Formeln	84
A.3 Definitionen	84
A.4 Sätze	85
A.5 Anmerkungen	85
B. Bibliographie	86
C. Weiterführende Literatur	91
D. Lebenslauf	98